



**jamk.fi**

# **Rumpuhakkurin sähkösuunnittelu sekä turvallisuusmäärittely**

Jukka Kovalainen

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**Jyväskylän ammattikorkeakoulu**

JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Kovalainen, Jukka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 09.03.2017
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Rumpuhakkurin sähkösuunnittelu sekä turvallisuusmäärittely</b>		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Vesa Hytönen, Sirpa Hukari		
Toimeksiantaja(t) Pronor Automation Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella Pronor Automation Oy:n toimeksiannosta puuta hakettavan rumpuhakkurin moottoripiirien sähkökäytöt, tulo- ja lähtöpiirikaaviot, ohjauspulpetin kytkentä- ja layout sekä turvallisuusvaatimukset täyttävä ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmän osalta tavoitteena oli saada riittävän vaatimustason täyttävä järjestelmä. Piirikaavioiden osalta tavoitteena oli kuvat, jotka kelpaavat liitteeksi tarjouskyselyyn.</p> <p>Työssä perehdyttiin yleisesti koneturvallisuuteen sekä tarkemmin ohjausjärjestelmien turvallisuusvaatimuksiin käymällä läpi koneturvallisuuteen liittyviä standardeja, direktiivejä sekä niitä soveltavaa kirjallisuutta. Ohjausjärjestelmien turvallisuuden osalta tutkittiin eri standardien määrittämiä vaatimustasoja sekä niiden vastaavuuksia ja tapoja halutun tason saavuttamiseen. Toteutetun ratkaisun kelpoisuus varmistettiin ohjelmallisesti. Sähkökäyttöjen osalta perehdyttiin moottoripiirien yleisiin komponentteihin, kaapeleiden mitoittamiseen sekä oikosulkumoottorien ohjauksiin. Moottoripiirien suunnittelun osalta sähkömoottoreiden tehot tiedettiin etukäteen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunnitelma riittävän turvallisuustason täyttävän ohjausjärjestelmän toteuttamiseksi, sähkökäyttöjen piirikaaviot ja tulo- ja lähtöpiiriluentelo. Piirikaaviota voidaan hyödyntää liitteeksi keskusvalmistuksen tarjouskyselyyn. Ohjauspulpetti voidaan valmistaa tuloksena saatujen kuvien avulla.</p> <p>Turvallisuus on tärkeä osa prosessin sähköjärjestelmän suunnittelussa. Sähkösuunnittelijan tulisi olla perillä myös koneiden ja niiden ohjausjärjestelmien turvallisuudesta, turvapiirien komponenteista ja niille asetetuista vaatimuksista.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) koneturvallisuus, turvallisuusmäärittely, sähkösuunnittelu		
Muut tiedot		

Author(s) Kovalainen, Jukka	Type of publication Bachelor's thesis	Date 09.03.2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Electrical planning and safety specification for drum chipper</b>		
Degree programme Degree programme in Automation engineering		
Supervisor(s) Vesa Hytönen, Sirpa Hukari		
Assigned by Pronor Automation Oy		
<p>Abstract</p> <p>The thesis was assigned by Pronor Automation. The purpose of thesis was to create electrical schemas and control system safety specification for a drum chipper. Electrical schemas included the electric drives of motor circuits, I/O schemas, schemas and layout of the control panel. The objective of electrical schema planning was to create schemas, which can be included in the attachment of a tender enquiry. The objective of safety specification was to get required safety level for the control system.</p> <p>The thesis generally studies machine safety and most accurately, the safety of the machine control system. The references used were standards, directives and applied literature about them. As far as the safety requirements of control system are concerned, definitions of different standards, their equivalence and ways to achieve wanted safety level were studied. Competence of the control system were checked programmatically. Concerning the electric drives, common components of motor circuits, sizing of cables and features of short circuit motors were familiarized with. Power of short circuit motors was knowledge in obtained previously.</p> <p>The thesis resulted in a plan to produce qualified safety specification for the control system, schemas for I/O and electric drives. Schemas can be used for attachment of a tender enquiry. Control panel can be made based on the schemas and layout.</p> <p>Safety is important part of planning process. Electrical planner should know about the safety of machines and control systems as well as safety circuit components and requirements of components</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) machine safety, safety definition, electrical planning		
Miscellaneous		

## Sisältö

Käsitteet ja lyhenteet .....	4
1 Johdanto .....	5
2 Koneen ohjausjärjestelmän turvallisuusvaatimusten määrittely .....	6
2.1 Riski ja riskinhallinta .....	6
2.2 Yleistä koneen turvallisuusvaatimusten määrittelystä .....	9
2.3 Ohjausjärjestelmien turvallisuusvaatimukset .....	11
2.4 Ohjausjärjestelmien luokat ja suoritustasot sekä turvallisuuden eheyttasot .....	12
2.5 Turvallisuuden tason valinta .....	18
2.6 Erilaisia turvalaitteita.....	24
2.6.1 Optiset turvalaitteet .....	24
2.6.2 Turvakytin Euchner MGB .....	25
2.6.3 Turvalogiikka Siemens Simatic ET200S.....	26
2.6.4 Nollanopeusvalvontarele.....	27
2.6.5 Turvarele.....	28
3 Moottoripiirin komponentteja .....	29
3.1 Oikosulkumoottori .....	29
3.2 Kontaktori.....	30
3.3 Katkaisija.....	31
3.4 Taajuusmuuttaja.....	32
3.5 Pehmokäynnistin .....	33
3.6 Kaapelointi.....	34
4 Työn toteutus .....	35
4.1 Turvallisuusmäärittely .....	35
4.2 Turvapiirien komponenttivalinnat .....	39
4.3 Sähkösuunnittelu.....	39
4.3.1 Moottorikäytöt .....	39

4.3.2	Piirikaaviosuunnittelu .....	40
4.3.3	Layout-suunnittelu .....	44
4.3.4	Kaapeleiden mitoitus .....	45
5	Tulokset .....	46
6	Johtopäätökset ja pohdinta .....	46
	Lähteet.....	49
	Liite 1: Lista laitteen sähkömoottoreista.....	51
	Liite 2: Turvallisuusarvioraportti .....	52

## Kuviot

Kuvio 1: Riskin määrittämisen kaava.....	6
Kuvio 2: Riskin arviointiprosessi .....	7
Kuvio 3: Luokan B mukainen ohjausjärjestelmän rakenne .....	14
Kuvio 4: Luokan 1 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne .....	15
Kuvio 5: Luokan 2 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne .....	16
Kuvio 6: Luokan 3 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne .....	17
Kuvio 7: Luokan 4 ohjausjärjestelmän rakenne .....	18
Kuvio 8: Turvatoiminnon suunnittelun iteratiivinen prosessi.....	19
Kuvio 9: Turvatoiminnon suoritustason määrittäminen.....	21
Kuvio 10: Erilaisia optisten antureiden toimintaperiaatteita .....	25
Kuvio 11: Euchner MGB - turvakytin .....	26
Kuvio 12: Siemens ET200S-moduuli .....	27
Kuvio 13: Schneider Electricin valmistama XPSVNE nollanopeusrele.....	28
Kuvio 14: Duelco NST-3.2 turvarele .....	29
Kuvio 15: Tyypillinen oikosulkumoottori.....	29
Kuvio 16: Kontaktori.....	30
Kuvio 17: Suojareleellä varustettu kompaktikatkaisija .....	31
Kuvio 18: Taajuusmuuttaja.....	32
Kuvio 19: Pehmokäynnistin .....	33
Kuvio 20: Sistema-ohjelman riskigraafi .....	35
Kuvio 21: Yksittäisen komponentin ja turvapiirin määrittäminen .....	36

Kuvio 22: Häätäpysäytyspiirin turvatoiminnon toteutus.....	37
Kuvio 23: Rumpualueen turvatoiminnon toteutus .....	37
Kuvio 24: Syöttökuljettimen turvatoiminnon toteutus.....	38
Kuvio 25: Poistokuljettimen turvatoiminnon toteutus .....	38
Kuvio 26: E3-ohjelman tietokantaa .....	41
Kuvio 27: Turvapiirien ohjausjännitejakelu .....	42
Kuvio 28: Moottori-, ohjaus- ja turvapiiri.....	43
Kuvio 29: Tulopiirikaavio ja ohjauspulpetin kytkimiä .....	44
Kuvio 30: Ohjauspulpetin layout .....	45

## **Taulukot**

Taulukko 1: Turvallisuuden eheystasot ja suoritustasot (Siirilä 2009, 147) .....	13
Taulukko 2: Luokkien, suoritustasojen ja turvallisuuden eheystasojen vastaavuudet (SFS-EN ISO 13 849-1:2015 24; 42-46). .....	18
Taulukko 3: Kontaktorien käyttöluokat (Kallio & Mäkinen 2004).....	30
Taulukko 4: Kaapeleiden poikkipinta-alat .....	45

## Käsitteet ja lyhenteet

$B_{10D}$	Sähkömekaanisen komponentin toimintajaksojen määrä, johon mennessä 10 % komponenteista on vikaantunut vaarallisesti.
$DC_{avg}$	Keskimääräinen diagnostiikan kattavuus
MTTFD	Mean time to dangerous failure, Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika vuosina.
PL	Suoritustaso, erillinen taso jonka avulla voidaan määrittää ohjausjärjestelmän osien kyky turvatoiminnon suorittamiseen ennakoitavissa olosuhteissa
SIL	Safety integrity level, turvallisuuden eheystaso. Taso sähköisille, elektronisille tai ohjelmoitaville turvallisuuteen liittyville järjestelmille turvallisuuden eheyden määrittämiseksi.
$T_{10D}$	Aika, johon mennessä 10% komponenteista vikaantuu vaarallisesti.

# 1 Johdanto

Turvallisuus on tärkeä osa prosessin sähköjärjestelmän suunnittelussa. Sähkösuunnittelijan tulisi olla perillä myös koneiden ja niiden ohjausjärjestelmien turvallisuudesta, turvapiirien komponenteista sekä niille asetetuista vaatimuksista.

Rumpuhakkuri on laite, jota käytetään puun hakettamiseen esimerkiksi voimalan polttoaineeksi. Rumpuhakkurissa on nimensä mukaisesti iso pyörivä rumpu, joka murskaa puun pieneksi hakkeeksi. Rumpua pyöritetään ulkoisella voimanlähteellä, tässä tapauksessa on kaksi oikosulkumoottoria.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin koneiden turvallisesti määrittelemiseen ohjausjärjestelmien osalta. Työssä tutustutaan standardien ja asetusten vaatimuksiin koneiden turvallisuudesta lähinnä ohjausjärjestelmän sekä sen komponenttivalintojen osalta. Näiden vaatimusten pohjalta suunniteltu kone on turvallinen käyttäjälle normaalissa käytössä ja myös häiriötilanteissa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja Pronor Automation on sahateollisuudelle sähköautomaatiojärjestelmiä toimittava yritys. Työn aihe valikoitui keskusteluissa Pronor Automationin edustajan kanssa. Hänellä oli tieto yritykselle mahdollisesti tulevasta rumpuhakkurin sähkökäyttöjen suunnittelu- ja asennusprojektista. Aiheen valintaan vaikutti työn mielenkiintoisuus sekä työn varsin joustava toteutusaikataulu.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä toimeksiantajana toimineelle Pronor Automation Oy:lle rumpuhakkurin turvallisuusmäärittely siihen liittyvine komponenttitarpeineen ja -valintoineen sekä laitteen varsinainen sähkökäyttöjen suunnittelu. Sähkösuunnittelu sisältää moottorien käynnistystapavalinnan, keskussuunnittelun, koneen ohjauspulpetin layout-suunnittelun sekä alustavan kaapelointisuunnittelun.

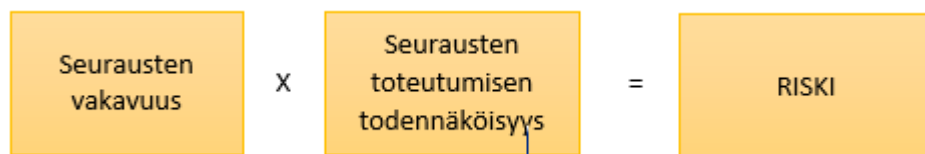
Sähkösuunnittelun työvälineenä opinnäytetyössä käytettiin opinnäytetyössä Zuken E3- suunnitteluohjelmistoa ja turvallisuusmäärittelyn apuna Sistema-ohjelmistoa.



## 2 Koneen ohjausjärjestelmän turvallisuusvaatimusten määrittely

### 2.1 Riski ja riskinhallinta

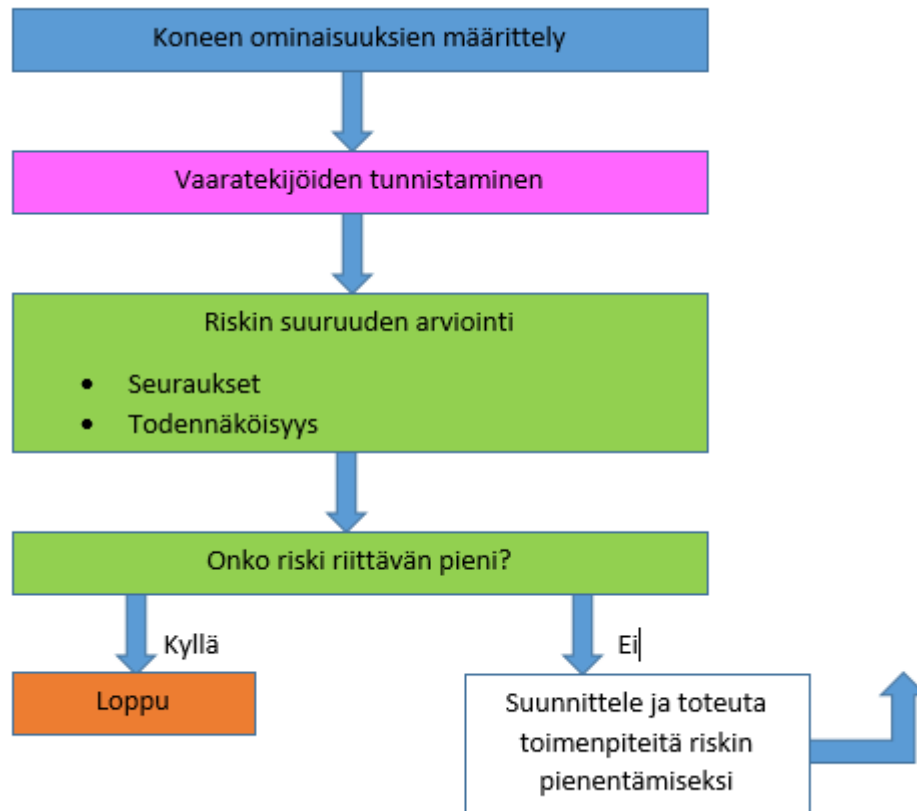
Kerttulan ja Siirilän mukaan riskin määritelmä on vaaratekijöistä aiheutuvien haitallisten seurausten vakavuuden sekä niiden toteutumisen todennäköisyyden yhdistelmä. Riskin tasoa kuvaava luku saadaan, kun seurausten vakavuudelle ja toteutumisen todennäköisyydelle annetaan jonkin valitun jaottelun mukaiset lukuarvot ja ne kerrotaan keskenään. Tätä on havainnollistettu kuviossa 1. Seuraukset ja todennäköisyys voidaan myös katsoa taulukosta ja selvittää niiden avulla riskin taso. (Kerttula & Siirilä 2007, 28.)



Kuvio 1: Riskin määrittämisen kaava

(alkup. Kuvio Kerttula, Siirilä 2007)

Riskien hallinta ja arviointi ovat tärkeä osa koneen suunnitteluprosessia. Niinpä valmistajan tulee tehdä suunnittelun alkuvaiheessa koneelle riskien arviointi, jossa arvioidaan erikseen jokaiseen vaaratekijään liittyvä riski. Tämän jälkeen suunnittelu ja valmistus toteutetaan arvioinnin tulokset huomioiden, että valmiin koneen riskit ovat riittävän alhaiset. Riskien arviointia myös päivitetään suunnittelun edetessä. (Kerttula & Siirilä 2007, 32.) Kuviossa 2 on esitelty yksinkertainen iteratiivinen lohko-kaavio riskin arvioinnin prosessiin.



Kuvio 2: Riskin arviointiprosessi

(alkup. Kuvio Kerttula & Siirilä 2007)

Koneiden riskien määrittämiseen ja niiden pienentämiseen peruskäsitteet ja periaatteet määrittelee standardi SFS-EN ISO 12100 2010. Tekninen raportti SFS-ISO/TR 14 121-2 2013 antaa käytännön neuvoja arvioinnin suorittamiseen. Teknisen raportin mukaan riskien arviointi tulisi suorittaa työryhmässä, koska tällöin se on tehokkaampaa ja perusteellisempaa

Riskin arviointi on mahdollista vasta, kun arviointia varten on toimitettu riittävät tiedot, joihin kuuluu koneen kuvaukseen liittyviä tietoja, säädöksiin, standardeihin sekä muihin soveltuviin asiakirjoihin ja käyttökokemuksiin liittyviä tietoja sekä asiaankuuluvia ergonomisia periaatteita (SFS-EN ISO 12100:2010, 34.)

Koneen kuvaukseen liittyvät tiedot sisältävät koneen hyödyntäjien erittelyn, kuvauksen koko koneen elinkaaren vaiheista, rakennepiirustukset sekä tarvittavat energialähteet ja miten ne järjestetään. Näiden lisäksi tarvitaan dokumentaatiota samankaltaisten koneiden aikaisemmista suunnitelmista, jos tarvetta ilmenee sekä myös mahdolliset koneen käyttöä koskevat tiedot. (SFS-EN ISO 12100:2010, 34.)

Soveltuviin asiakirjatietoihin kuuluvat kaikki sovellettavat säädökset, standardit, asiaankuuluvat tekniset eritelmiä sekä turvallisuuteen liittyvät tietolomakkeet. (SFS-EN ISO 12100:2010, 34.)

Käyttökokemukset sisältävät kyseiseen tai vastaavan kaltaiseen koneeseen liittyvät erilaiset tapaturmatiedot, toimintahäiriötiedot sekä tietoja, jotka liittyvät epätavallisiin tapauksiin. Myös erilaiset tiedot terveyshaitoista, jotka johtuvat koneesta, sillä käsiteltävistä materiaaleista tai siinä käytettävistä kemikaaleista sisältyvät näihin tietoihin. Mahdollisuuksien mukaan tarvitaan myös käyttökokemuksia vastaavanlaisten koneiden hyödyntäjiltä (SFS-EN ISO 12100:2010, 34;36.)

Asiaankuuluvat ergonomiset periaatteet tarkoittavat, että konetta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon koneen käyttäjälle aiheutuvat fyysiset tai henkiset rasitukset ja kuinka niistä saadaan mahdollisimman pienet. Tämä tehdään perussuunnittelun yhteydessä, kun suunnitellaan automaation astetta. Ergonomiset periaatteet tulee myös päivittää suunnittelun edetessä tai tehtäessä muutoksia koneeseen (SFS-EN ISO 12100, 2010 36;58.)

Riskiä saadaan pienennettyä mahdollisuuksien mukaan poistamalla vaarat kokonaan tai pienentämällä riskin määritteleviä tekijöitä, eli seurausten vakavuutta tai niiden toteutumisen todennäköisyyttä joko yhdessä tai erikseen (SFS-EN ISO 12100:2010, 54.)

Riskin pienentämiseksi koneisiin on lisätty turvatoimintoja, joiden osana käytetään yleisesti sähköistä ohjausjärjestelmää. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien avulla saadaan aikaan turvatoimintoja sellaisella tasolla, että vaadittu riskin pienentäminen saavutetaan. Jokaiselle turvatoimintoja suorittavalle ohjausjärjestelmän osalle on määritettävä riittävä suojaustaso sen mukaan, mitä suurempi osuus ohjausjärjestelmän osalla on riskin pienentämisessä (SFS-EN 62061:2005, 10; SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 19;21.)

## 2.2 Yleistä koneen turvallisuusvaatimusten määrittelystä

Lainsäädäntö vaatii, että koneen tulee olla niin turvallinen, ettei sillä satu tapaturmia. Riittävä turvallisuustaso toteutetaan käytännössä tunnistamalla vaarat ja tekemällä niihin riskien arviointi. Jos jokin riski todetaan liian suureksi, sitä pienennetään lisäämällä suojuksia ja turvalaitteita tai muuttamalla konetta (Siirilä 2009, 25; 39).

Koneen turvallisuusvaatimuksia syntyy koko koneen elinkaaren ajan, vaikka yleensä vaatimusmäärittely mielletäänkin tehtäväksi tuotekehittelyprosessin alussa. Vaatimuksia ilmenee pääosin suunnitteluvaiheessa, mutta myös testauksessa sekä varsinaisen käyttöönoton jälkeen. Työturvallisuus laki vaatii nykyisin, että myös vanhojen koneiden turvallisuutta on parannettava, kun tekninen kehitys tekee sen mahdolliseksi. Vaatimuksella ja suunnittelulla on selkeä ero, sillä vaatimuksella vastataan kysymykseen ”mitä?”, kun taas suunnitelma on vastaus kysymykseen ”miten?”, eli päätetään, kuinka jokin turvatoiminto toteutetaan. Tässä vaiheessa suunnitelmaa tehtäessä ei vielä puututa tekniseen erittelyyn, vaan komponentti- ja tyyppivalinnat tehdään myöhemmin. Turvallisuusvaatimuksia tehtäessä on jäljitettävyyttä tärkeää, että voidaan tarvittaessa osoittaa, mikä osa suunnitelmasta toteuttaa koneasetuksen tai standardin vaatimuksen sekä sen, miten vaatimus on kelpuutettu. Turvallisuustoimenpiteen vaatimus voidaan tehdä myös riskianalyysin perusteella. (Alanen, Hietikko & Malm 2009 12-13; Siirilä 2009, 41).

Koneiden turvallisuutta koskevat keskeiset säädökset ovat työturvallisuuslaki (738/2002) sekä ns. konelaki (1016/2004). Myös EU:n konedirektiivi (2006/42/EY) ja vastaava suomalainen ns. koneasetus (400/2008) määrittelevät, kuinka turvallisia koneiden tulee olla, että niitä voidaan myydä ja käyttää Euroopan talousalueella (Siirilä 2009, 25.)

Koneiden turvallisuutta koskevat säädökset eivät määrittele yksityiskohtaisesti teknisiä vaatimuksia, vaan ainoastaan sen, että lopputulos on riittävän turvallinen. Lopputulos saadaan riittävän turvalliseksi, kun jäljelle jäävät riskit ovat tarpeeksi pienet. (Kerttula & Siirilä 2007, 28.)

Konedirektiiviä tukemaan on luotu kolmitasoinen standardijärjestelmä, joka on jaettu tyyppeihin A, B ja C. A-tyyppiset standardit koskevat yleisesti kaikkia koneita, kun taas B- tyyppi koskee tiettyä turvalaitetta tai koneen ominaisuutta. C-tyypin standardit ovat yksityiskohtaisemmin tietylle koneelle tai koneryhmälle. Eurooppalaisten standardien tunnus on Suomessa SFS-EN, mutta jos standardi on vahvistettu myös kansainväliseksi ISO-standardiksi, sen tunnus on silloin SFS-EN ISO. (Siirilä 2008, 31;39.)

Koneiden sähköisten ohjausjärjestelmien toiminnallista turvallisuutta määrittelee standardi SFS-EN 62061, jonka mukaan tulee asettaa jokaiselle turvallisuuteen liittyvälle sähköisen ohjausjärjestelmän ohjaustoiminnolle vaadittava turvallisuuden eheystaso. Standardin menetelmillä ja vaatimuksilla mahdollistetaan myös, että sähköinen ohjausjärjestelmä saadaan suunniteltua niin, se ja valitut turvatoiminnot ovat yhteensopivia. Turvallisuuteen liittyvä sähköinen ohjausjärjestelmä saadaan kelpuutettua menetelmien ja vaatimusten avulla. Perinteisemmille koneen ohjausjärjestelmille keskeiset standardit ovat SFS-EN ISO 13 849-1 ja SFS-EN ISO 13 849-2. (SFS-EN 62061:2005, 10; Siirilä 2008, 115.)

## 2.3 Ohjausjärjestelmien turvallisuusvaatimukset

Konedirektiivi määrittelee, että koneiden ohjausjärjestelmät tulee suunnitella siten, ettei vaaratilanteita pääse syntymään. Järjestelmää suunniteltaessa ja rakennettaessa on huomioitava, että ohjausjärjestelmät kestävät ulkoiset vaikutukset sekä käytörsitukset olosuhteissa joihin kone on suunniteltu. Ohjausjärjestelmään mahdollisesti tulevat laitteistoviat tai virheet ohjelmistoissa tai logiikkaohjelmassa eivät saa aiheuttaa vaaratilanteita. Myöskään inhimillinen erehdys, joka on kohtuudella ennakoitavissa, ei saa aiheuttaa vaaratilannetta. Direktiivin mukaan myös koneen odottamaton käynnistyminen on estettävä, eivätkä koneen ominaisarvot saa muuttua hallitsemattomasti, mikäli siitä aiheutuu vaaratilanteita. Jos koneen on käsketty pysähtyä, mikään ei saa estää sitä, eikä minkään liikkuvan osan pysäyttämistä saa estää. Lisäksi koneesta ei saa irrota mitään osia, eivätkä sen mahdollisesti kiinnipitämät kappaleet saa pudota. Konedirektiivi vaatii turvalaitteilta, että niiden on oltava toimintakykyisiä tai vikaantuessa on niiden annettava koneelle pysähtymiskäskey. (Direktiivi 2006/42/EY 2006, 37-38.)

### **Koneen käynnistäminen**

Käynnistämistä ei lasketa koneen varsinaiseksi turvatoiminnoksi, mutta sen huolellinen suunnittelu on tärkeää, että koneesta tulee turvallinen. Konedirektiivin 2006/42/EY mukaan kone ei saa käynnistyä ilman, että tarkoituksella vaikutetaan koneen käynnistävään hallintalaitteeseen. Mainittu hallintalaite on tarkoitettu ainoastaan koneen käynnistämiseen. Kone ei kuitenkaan saa käynnistyä ilman erillistä käynnistyskäskeyä, vaikka käyntiä ohjaava hallintalaite olisi käyntiasennossa ja esimerkiksi virransyötöä kytketään tai turvalaite kuitataan. (Siirilä, 2009, 260-261; Direktiivi 2006/42/EY 2006, 38.)

### **Koneen pysäyttäminen**

Konedirektiivi vaatii, että koneessa on oltava ohjauslaite, joka pysäyttää koneen toiminnan turvallisesti kokonaan. Ohjauslaite ei saa olla hätäpysäytin eikä laitteen virransyötöstä erottava kytkin. Koneen pysäyttävän ohjauslaitteen toiminnan tulee olla ensisijainen käynnistävään ohjauslaitteeseen nähden. Koneen pysähtymisen jälkeen myös energiansyötön toimilaitteisiin on loputtava. (Direktiivi 2006/42/EY 2006, 38.)

### **Hätäpysäytys**

Koneessa tulee olla saatavilla yksi tai useampia selvästi tunnistettavia hätäpysäyttimiä, jotka pysäyttävät vaarallisen prosessin mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita riskejä. Hätäpysäyttimen käytön antama pysäytyskäsky tulee jäädä voimaan, eikä sen poistaminen saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan sallia uudelleenkäynnistys. Hätäpysäytyslaitteet täydentävät muita suojausteknisiä laitteita eivätkä saa korvata niitä. (Direktiivi 2006/42/EY 2006, 40.)

### **Turvalaitteiden oikea toiminta ja järjestelmän yhtenäisyys**

Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet tulee suunnitella ja rakentaa niin, ettei laitteistotai ohjelmistovika tai virheet ohjausjärjestelmän logiikkaohjaimessa saa aikaan vaaratilanteita. Turvalaitteet ovatkin yleensä itsenäisiä kokonaisuuksia erillään muusta ohjausjärjestelmästä. Lisäksi turvallisuudelle tärkeissä ohjauslaitteissa käytetään lähtösignaalien kahdennusta. Konejärjestelmän suunnittelussa on tärkeää, että turvatoiminnot toimivat yhtenäisesti koko järjestelmässä ja tietty suoritustaso tai turvallisuuden eheystaso saavutetaan kaikilla alueilla. (Siirilä, 2009, 226-227.)

## **2.4 Ohjausjärjestelmien luokat ja suoritustasot sekä turvallisuuden eheystasot**

Ohjausjärjestelmän selviämiskykyä vikatilanteissa sekä vikojen todennäköisyyttä kuvataan eri standardeissa luokilla, suoritustasoilla ja turvallisuuden eheystasoilla. Niiden määrittely tapahtuu pääsääntöisesti satunnaisesti ilmenevien komponenttivikojen perusteella, mutta lisäksi turvajärjestelmässä on otettava huomioon inhimilliset erehdykset. (Siirilä, 2009, 143.)

Ohjausjärjestelmien vikatilanteista selviämiskykyä kuvataan vaarallisen vian ilmene-  
misen todennäköisyytenä tuntia kohti, jota on kuvattu tunnuksella PFHD. Tätä on ku-  
vattu eri standardeissa eri tavoilla, standardissa SFS-EN ISO 13849-1 käytetään nimi-  
tystä suoritustaso PL a-e, kun taas standardissa SFS EN 62061 turvallisuuden eheys-  
taso SIL 1-4, joista 4 ei ole käytössä koneiden turvallisuuden määrittelyssä, koska sitä  
pidetään turhan vaativana. Erilaiset nimitykset johtuvat siitä, että standardit on mää-  
ritelty eri tahojen toimesta. Taulukossa 1 esitellään suoritustasojen ja turvallisuuden  
eheystasojen tasojen vaarallisen vian todennäköisyyden suhteen sekä niiden vastaa-  
vuuksia toisiinsa nähden. Suoritustaso PL a ei vastaa mitään turvallisuuden eheyden  
tasoa SIL. Sitä käytetäänkin lähinnä lieviin vammoihin johtavien riskien pienentämi-  
seen. (Siirilä, 2009, 146-147; SFS-EN ISO 13 849-1: 2015, 24.)

Taulukko 1: Turvallisuuden eheystasot ja suoritustasot (Siirilä 2009, 147)

Turvallisuuden eheystaso	Suori- tustaso	Vaarallisen vian to- dennäköisyys tun- nissa PFH <sub>D</sub>	Montako vuotta (noin) to- dennäköisesti kuluu ennen vikaantumista
-	a	$10^{-5} - 10^{-4}$	1 - 10
1	b	$3 \cdot 10^{-6} - 10^{-5}$	10 - 40
1	c	$10^{-6} - 3 \cdot 10^{-5}$	40 - 100
2	d	$10^{-7} - 10^{-6}$	100 - 1000
3	e	$10^{-8} - 10^{-7}$	1000 - 10 000

Turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osan luokat B, 1, 2, 3 ja 4 määritellään  
standardissa SFS-EN ISO 13849 osassa 1. Luokkia käytetään, että saavutetaan tietty  
suoritustaso. Määrittelyperusteena käytetään ohjausjärjestelmän turvallisuuden var-  
mistamista vikatilanteessa. Standardin osassa 2 on taulukoitu yksityiskohtaisemmin  
vikojen huomioon ottamista, hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita sekä kom-  
ponentteja. (Siirilä, 2009, 143.) Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti esitelty luokat ja  
niitä koskevia vaatimuksia.

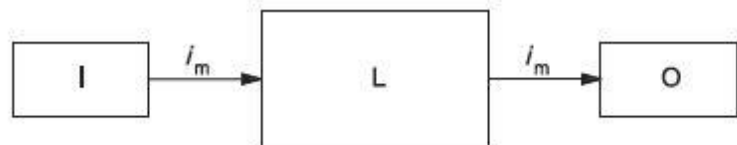


Kaikkien luokkien yhteydessä on noudatettava yleisiä turvallisuuden perusperiaatteita, joista on annettu esimerkkejä standardin SFS-EN ISO 13849 osassa 2.

Näitä ovat esimerkiksi:

- yksinkertaistaminen, joka tarkoittaa mahdollisimman pientä komponenttien lukumäärää turvallisuuteen liittyvässä järjestelmässä
- erottelu, eli turvallisuuteen liittyvät toiminnot ovat erotettu muusta järjestelmästä
- sopivien materiaalien ja oikeiden valmistustapojen käyttäminen (Siirilä 2009, 145).

Luokassa B komponentit tulee valita ja mitoittaa niin, että niiden kestävyys riittää tiedossa oleviin käyttö- ja ympäristöolosuhteisiin. Vaarallisen vikaantumisen keskimääräisen ajan MTTFD on oltava keskimäärin vähintään 3 vuotta, eikä diagnostiikkaa ole järjestelmässä (SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 42.) Kuviossa 3 on esitelty ohjausjärjestelmän rakennetta luokan B osalta.



**Selite**

$i_m$  Liitännäsvälineet

I Tuloyksikkö (esim. anturi)

L Logiikka

O Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Kuvio 3: Luokan B mukainen ohjausjärjestelmän rakenne  
(SFS-EN ISO 13 849-1:2015)

Luokan 1 vaatimuksiin kuuluu luokan B vaatimukset. Lisäksi hyödynnetään hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita, kuten pakkotoimisuutta tai ylimitoitusta. Komponenttivalintoja tehtäessä on valittava niin luotettavia komponentteja, että vikaantuminen on epätodennäköistä ja se tapahtuu turvalliseen suuntaan. Vaatimuksiin kuuluu myös, että komponenttien vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen aika MTTFD on vähintään 30 vuotta. Luokan 1 järjestelmässä ei ole diagnostiikkaa ollenkaan. Kuvi-

osta 4 voidaan havaita, että järjestelmän fyysinen rakenne ei poikkea luokan B rakenteesta, vaan ero luokkien välillä syntyy komponenttivalinnoilla. (Siirilä 2009, 144;148; SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 43.)



**Selite**

$i_m$  Liitännäsvälineet

I Tuloyksikkö (esim. anturi)

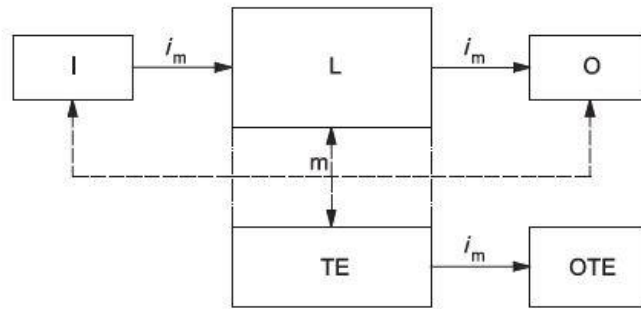
L Logiikka

O Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Kuvio 4: Luokan 1 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne

(SFS-EN ISO 13 849-1:2015)

Luokan 2 saavuttamiseksi luokkien B ja 1 vaatimusten lisäksi ohjausjärjestelmän tulee tarkistaa turvajärjestelmän kunto vähintään konetta käynnistettäessä, uuden toimintajakson alussa tai muulloin määrävlein koneen käydessä. Standardin 13849 osan 1 kohta 4.5.4 määrittelee, että turvajärjestelmää täytyy testata vähintään satakertaisella taajuudella arvioituun turvatoiminnon tarvitsemisaikaan nähden. Turvatoimintojen testauksen on sallittava käyttö, ellei vikoja ole havaittu tai vian sattuessa annettava lähtösignaali, joka suorittaa määrätyn ohjaustoiminnon. Vaarallisen vikaantumisen keskimääräisen ajan MTTFD tulee olla vähintään 3-100 vuotta riippuen vaadittavasta suoritustasosta, diagnostiikan tulee kattaa keskimäärin 60-98% ja todennäköisyyden yhteisvikojen esiintymiselle tulee olla hyvin pieni. Kuviossa 5 on luokan 2 mukainen rakenne, josta ilmenee myös diagnostiikan sisältyminen järjestelmään. Suoritustason PLr c saavuttamiseksi riittää, että diagnostiikan lähtösignaali (kuviossa 5 OTE) ajaa koneen turvalliseen tilaan, josta poistuminen sallitaan vasta, kun vika on poistettu. Mikäli tämä ei ole helposti toteutettavissa, riittää että järjestelmä antaa hälytyssignaalin. Jos taas halutaan saavuttaa suoritustaso PLr d, järjestelmä on jokaisen vian sattuessa ajettava turvalliseen tilaan, eikä siitä voi poistua ennen kuin vika on korjattu. (Siirilä 2009, 144; SFS-EN ISO 13 849-1 2015 27;44.)

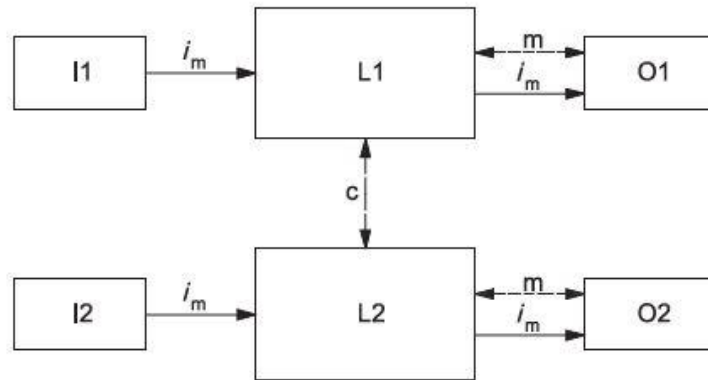
**Selite**

$i_m$	Liitännävälineet
I	Tuloyksikkö (esim. anturi)
L	Logiikka
m	Valvonta
O	Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)
TE	Testauslaitteisto
OTE	Testauslaitteiston lähdöt

Katkoviivat esittävät kohtuudella mahdollista vikojen paljastamista

Kuvio 5: Luokan 2 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne  
(SFS-EN ISO 13 849-1:2015)

Haluttaessa saavuttaa luokka 3 järjestelmän tulee luokan 2 vaatimusten lisäksi pysyttävä suorittamaan turvatoiminto, kuten koneen pysäytys, vaikka järjestelmässä olisi ilmennyt yksi vika missä tahansa osassa, sekä useimpien vikojen tulee paljastua. Käytännössä turvatoiminnon toimivuusvaatimus vikatilanteessa toteutetaan tekemällä järjestelmä redundanttiseksi eli kahdentamalla kunkin kanavan komponentit. Vian paljastumisen vaatiminen ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki mahdolliset viat ilmenisivät. Kuviossa 6 on esitelty redundanttinen luokan 3 ohjausjärjestelmän rakenne. (Siirilä 2009, 144; SFS-EN ISO 13 849-1 2015 45.)

**Selite** $i_m$  Liitännävälineet $c$  Ristiinvalvonta

I1, I2 Tuloyksikkö (esim. anturi)

L1, L2 Logiikka

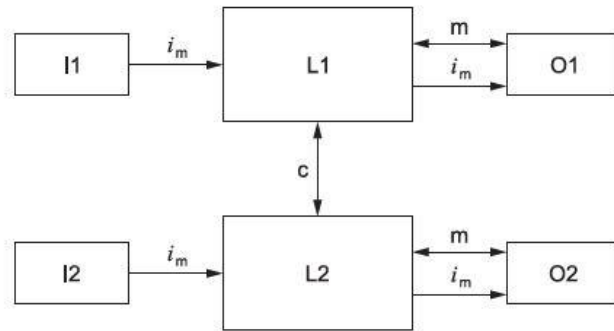
 $m$  Valvonta

O1, O2 Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Katkoviivat esittävät kohtuudella mahdollista vikojen paljastamista

Kuvio 6: Luokan 3 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne  
(SFS-EN ISO 13 849-1:2015)

Luokka 4 sisältää kaikki alempien luokkien vaatimukset ja sen saavuttamiseksi vaaditaan myös, että kaikkien ohjausjärjestelmässä olevien vikojen täytyy ilmetä, eikä yksittäinen järjestelmässä ilmenevä vika saa johtaa turvatoiminnon toimimattomuuteen. Vaatimukset toteutetaan käytännössä tekemällä järjestelmästä redundanttinen ja lisäämällä järjestelmään jatkuva automaattinen valvonta. Luokassa 4 vaarallisen vikaantumisen keskimääräisen ajan tulee olla vähintään MTTFD 30-100 vuotta ja diagnostiikan tulee kattaa 99-100% järjestelmästä. Kuviossa 7 on esitelty luokan 4 mukainen ohjausjärjestelmän rakenne, joka ei rakenteellisesti poikkea luokan 3 järjestelmästä, vaan ero tulee lähinnä diagnostiikan kattavuudesta. (Siirilä 2009, 144; SFS-EN ISO 13 849-1 2015 46.)

**Selite** $i_m$  Liitännävälineet $c$  Ristiinvalvonta

I1, I2 Tuloyksikkö (esim. anturi)

L1, L2 Logiikka

 $m$  Valvonta

O1, O2 Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Yhtenäiset viivat valvontatoiminnoissa esittävät diagnostiikan kattavuutta, jonka taso on korkeampi kuin luokkaan 3 kuuluvassa nimetyssä rakenteessa

Kuvio 7: Luokan 4 ohjausjärjestelmän rakenne

(SFS-EN ISO 13 849-1:2015)

Taulukossa 2 on esitelty korkeimmat suoritustasot sekä turvallisuuden eheyden tasot, minkä mikään luokka voi saavuttaa (SFS-EN ISO 13 849-1:2015 24; 42-46).

Taulukko 2: Luokkien, suoritustasojen ja turvallisuuden eheystasojen vastaavuudet (SFS-EN ISO 13 849-1:2015 24; 42-46).

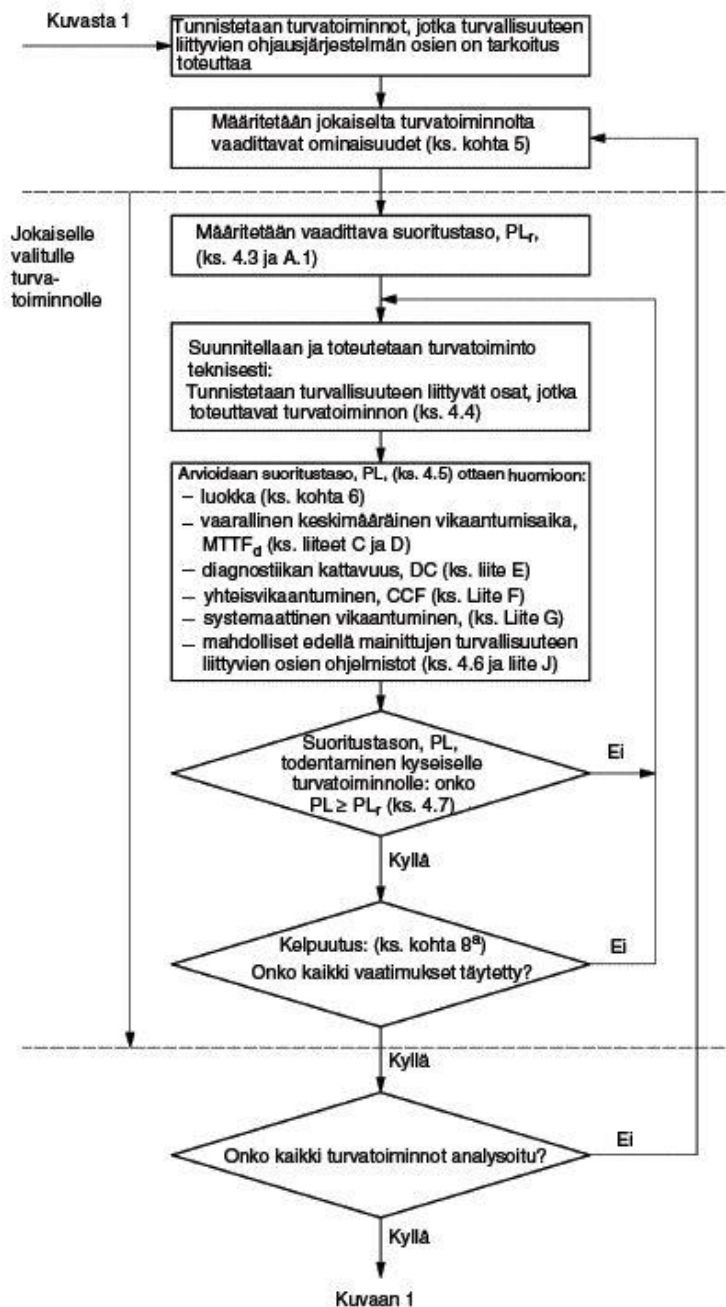
Luokka	Suoritustaso PL	Turvallisuuden eheystaso SIL
B, 1	a	ei saavuteta
B,1	b	1
1,2	c	1
3,4	d	2
4	e	3

## 2.5 Turvallisuuden tason valinta

Ohjausjärjestelmän suunnittelussa riittävä suojaustaso voidaan määritellä tapaturman seurausten perusteella, tai sen perusteella kuinka suuri osuus riskin vähentämisessä on ohjausjärjestelmällä. Mikäli fyysiset ominaisuudet ovat koneella sellaiset, että tapaturman sattumisesta voi seurata kuolema tai muunlainen vakava tapaturma, riskiä saadaan pienennettyä riittävästi tekemällä tapaturman sattuminen erittäin epätodennäköiseksi estämällä vaaravyöhykkeelle pääseminen erilaisilla fyysisillä

suojuksilla ja turvalaitteilla. Vaatimukseen kuuluu myös, että vaaravyöhykkeellä oltaessa ei saa sattua ohjausjärjestelmän viasta johtuvaa koneen odottamatonta käynnistymistä. Jokaiselle turvatoiminnoille on erikseen määritettävä suoritustaso, luokka tai turvallisuuden eheyden taso. (Siirilä 2009, 165.)

Kuviossa 8 on esitelty standardin SFS-EN ISO 13849 osan 1 mukainen iteratiivinen prosessi turvatoiminnon tason määrittämiseen standardin avulla.



Kuvio 8: Turvatoiminnon suunnittelun iteratiivinen prosessi

(SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 21)

**Vaadittavan suoritustason PL<sub>r</sub> valinta**

Ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyviltä osilta, joita käytetään turvatoiminnon suorittamiseen, vaaditaan suoritustaso PL<sub>r</sub>. Ohjausjärjestelmältä vaadittava suoritustaso riippuu myös muista toimenpiteistä, joita on tehty riskin pienentämiseksi. Sellaisia ovat esimerkiksi vaaraa aiheuttavien kohteiden mekaaniset suojaukset. Ohjausjärjestelmän suoritustasoa määriteltäessä lähtötilanteeksi valitaan aina muiden riskin pienentämiseksi tehtyjen toimenpiteiden jälkeinen tilanne. Standardin SFS-EN ISO 13 849 osan 1 liite A opastaa valitsemaan vaadittavan suoritustason kolmen muuttujan avulla. Nämä muuttujat ovat S, F ja P. Jokaiselle muuttujalle on lisäksi määritetty tasot 1 ja 2. (SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 54-55.)

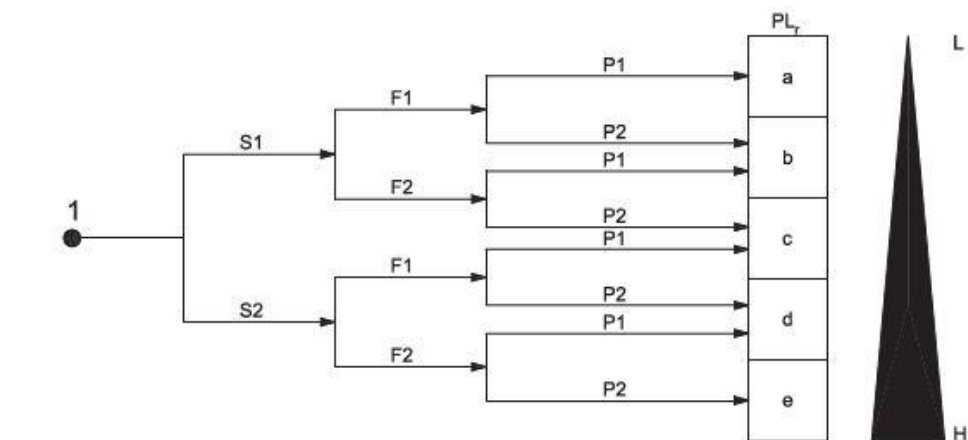
Muuttuja S kuvaa tapaturman aiheuttaman vamman vakavuutta karkeasti, kuten jotta se kuolemaan tai raajan irti leikkautumiseen vai haavautumiseen. Tason S1 ja S2 välinen valinta tapahtuu tarkastelemalla turvatoiminnon vikaantumisesta seuraavan tapaturman seurauksia, huomioon otetaan myös paranemisprosessit. Normaalisti paranevat ruhjeet sekä haavat luokitellaan tasolle S1, kun taas vakavammat, paranevottomat vammat sekä kuolema luokitellaan tasolle S2. (SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 53.)

Muuttujalla F määritetään vaaralle altistumisen kesto sekä taajuus. Tasojen F1 ja F2 välille ei ole määritettävissä yleispätevää aikaväliä. Muuttujan taso F2 tulee valita myös silloin, kun vaaralle altistuminen tapahtuu toistuvasti tai on jatkuvaa. Tätä voidaan arvioida suhteuttamalla vaaralle altistuminen koneen kokonaiskäyttöaikaan. Mikäli vaaralle altistuminen tapahtuu useammin kuin 15 minuutin välein, tulee valita taso F2. Tason F1 voidaan valita, jos altistuminen vaaralle suhteessa koneen kokonaiskäyttöaikaan on pienempi kuin 1/20. (SFS-EN ISO 13 849-1 53-54.)

Muuttuja P määrittelee mahdollisuuden vaaran välttämiseen tai vahingon rajoittamiseen. Tasoilla P1 ja P2 määritellään, onko vaaran välttäminen todennäköistä (P1) vai tuskin mahdollista (P2). P1 voidaan valita ainoastaan silloin, kun vaaran välttäminen tai sen vaikutuksen vähentäminen on todella mahdollista. Määritettäessä muuttujaa

P on tärkeää tietää, onko vaaratilanteen tunnistaminen ja sen välttäminen mahdollista ennen kuin sen seurauksena aiheutuu tapaturma. Myös kuinka nopeasti vaaratilanne syntyy ja voiko sen välttää esimerkiksi pakenemalla täytyy ottaa huomioon vaikuttavat muuttujan P tason määrittämiseen. Lisäksi tulee huomioida myös käytännön turvallisuuskokemukset jotka liittyvät kyseiseen prosessiin ja ovatko käyttäjät soveliaita ja riittävästi koulutettuja koneen käyttöön sekä onko käyttö valvottua vai ei. Vaarallinen tapahtuma syntyy usein joko inhimillisen virheen tai teknisen vian seurauksena. Esiintymistodennäköisyyttä arvioitaessa arvio perustuu pitkälti vastaavilla koneilla aiemmin tapahtuneiden tapaturmien tietoihin sekä luotettavuustietoihin. (SFS-EN ISO 13 849-1:2015, 55.)

Kuviossa 9 standardin SFS-EN ISO 13849 osan 1 mukainen kuvaaja turvatoiminnolta vaadittavan suoritustason  $PL_r$  määrittelemistä varten muuttujien S, F, ja P avulla. Kuviota luetaan vasemmalta oikealle ja valitaan tehdyn arvioinnin mukaan oikea polku.



#### Selite

1 Aloituskohta turvatoiminnon osuudenarvioimiseksi riskin pienentämisessä

L Osuus riskin pienentämisessä pieni

H Osuus riskin pienentämisessä suuri

$PL_r$  Vaadittava suoritustaso

#### Riskimuuttujat:

S Vamman vakavuus

S1 Lievä (tavallisesti palautuva vamma)

S2 Vakava (tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema)

F Vaaralle altistumisen taajuus ja/tai kesto

F1 Harvoin...toisinaan ja/tai lyhyt altistumisaika

F2 Toistuvasti...jatkuvasti ja/tai pitkä altistumisaika

P Mahdollisuus välttää vaaraa tai rajoittaa vahinkoa

P1 Mahdollista tietyissä olosuhteissa

P2 Tuskin mahdollista

Kuvio 9: Turvatoiminnon suoritustason määrittäminen

(SFS-EN ISO 13849-1:2015, 55)



### Turvallisuuden todentaminen

Riittävän suoritustason sekä luokan saavuttaminen todennetaan erikseen jokaiselle turvatoiminnolle. Se saadaan todennettua arvioimalla kunkin toiminnon vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika  $MTTF_D$  sekä diagnostiikan kattavuus DC ja vertaamalla niitä suoritustasoille määritettyihin minimiarvoihin. Ennen  $MTTF_D$ -arvon laskemista tulee määrittää  $n_{op}$ -arvo, joka kertoo kyseisen toiminnon keskimääräisen vuosittaisen toimintajaksojen lukumäärän. Kaavassa 1 on esitetty  $n_{op}$ -arvon laskeminen. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 23.)

(1)

$$n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600s/h}{t_{cycle}}$$

missä

$n_{op}$  = toiminnon vuosittainen keskimääräinen toimintajaksojen lukumäärä

$d_{op}$  = toiminnon keskimääräinen toiminta-aika (päivää vuodessa)

$h_{op}$  = toiminnon keskimääräinen toiminta-aika (tuntia päivässä)

$t_{cycle}$  = kahden peräkkäisen toimintajakson alkamisen aikaväli (sekuntia)

$MTTF_D$  voidaan laitevalmistajien toimesta määrittää ennakkoon tai ilmoittaa  $B_{10D}$ -arvo, jonka avulla saadaan laskettua  $MTTF_D$ -arvo kaavan 2 avulla.

(2)

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{(0,1 * n_{op})}$$

Komponenttien toiminta-aika rajoittuu  $T_{10D}$ -arvoon, johon mennessä 10% komponenteista on vikaantunut vaarallisesti (kaava 3).

(3)

$$T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{op}}$$

Kokonaisen turvapiirin kanavalle  $MTTF_D$ -arvo saadaan kaavan 4 mukaisella summalausekkeella. Kanavan maksimi-arvo on rajoitettu sataan vuoteen luokissa B, 1, 2 ja 3 sekä 2500 vuoteen luokassa 4. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 67.)

(4)

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{MTTF_{Di}}$$

missä

$MTTF_D$  = Kanavan vaarallisten vikojen keskimääräinen välinen aika

$MTTF_{Di}$  = Yksittäisen komponentin vaarallisten vikojen keskimääräinen välinen aika

Diagnostiikan kattavuutta DC arvioidaan standardin 13849 osan 1 liitteen E avulla.

Siinä on määritelty toimintoja, jolla diagnostiikan taso saadaan 60-99%. Usein vikojen paljastamiseen käytetään erilaisia toimenpiteitä, mutta suoritustason arvioinnissa voidaan käyttää ainoastaan yhtä arviota  $DC_{avg}$ , joka saadaan laskemalla kaavan 5 avulla. Kaava ottaa huomioon jokaisen lohkon vaarallisen vikaantumisaajan  $MTTF_D$  sekä diagnostiikan kattavuuden DC. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 70-72.)

(5)

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{Dn}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{Dn}}}$$

Standardin 13849 osan 1 liitteessä E arvioidaan vielä yhteisvikaantumisen mahdollisuutta pisteyttämällä yhteisvikaantumista estäviä toimenpiteitä. Taulukossa pisteytetään erikseen esimerkiksi signaalireittien erottaminen, järjestelmien erilaisuus sekä ympäristöolosuhteet. Yhteisvikaantumiselta suojaavien toimenpiteiden yhteispistemäärä tulee ylittää 65 pistettä, että järjestelmä täyttää vaatimukset. Yhteisvikaantuminen tulee ottaa huomioon, mikäli järjestelmän luokka on 2 tai korkeampi. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 73-74.)

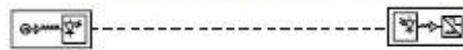
## 2.6 Erilaisia turvalaitteita

Turvalaitteet voivat perustua moniin erilaisiin toimintaperiaatteisiin. Laitetta valittaessa tulee varmistua sen soveltuvuudesta turvalaitteeksi, sillä kaikkia laitteita ei ole suunniteltu niin, että ne vikaantuisivat turvallisesti. Turvalaitekäytössä olevien tunnistimien toiminnan tulisi ensisijaisesti perustua signaalin katkeamiseen tunnistimen aktivoituessa. (Kivipuro, Malm & Tiusanen 1998, 15.)

### 2.6.1 Optiset turvalaitteet

Optisten turvalaitteiden toiminta perustuu infrapunavaloa tai lasersäteilyä lähettävään lähettimeen ja sen havaitsevaan vastaanottimeen. Valopuomin sekä valoverhon toiminta perustuu siihen, että vastaanotin havahtuu valon puuttumiseen eli se tulkitsee esteen joutuneen valonsäteen eteen ja synnyttää tällöin lähtöviestin ohjausjärjestelmään. Valopuomin ja valoverhon ero on se, että valopuomi ei havaitse läpimitaltaan alle 40 mm:n kappaleita. Laserskannerin vastaanotin taas vastaanottaa valoa vasta sitten, kun lähettimen lähettämän valon tielle tulee este. Laitteen ohjausyksikkö laskee valon kulkeman ajan perusteella etäisyyden kohteeseen. Mikäli matka on lyhyempi kuin laitteeseen on määritetty, se synnyttää lähtöviestin ohjausjärjestelmälle. Laserskanneri voidaan kuitenkin tarvittaessa ohjelmoida niin, etteivät sen valvomalla alueella olevat kiinteät esteet, kuten esimerkiksi pilarit aiheuta turhaa hälytystä. Turvallisuuden kannalta parempi vaihtoehto olisi parempi käyttää joko valoverhoa tai -puomia, sillä niissä likaantuminen sekä virheellinen suuntaus paljastuvat herkemmin siitä, ettei vastaanotin vastaanota enää riittävästi valoa. Kuviossa 10 on esitelty erilaisia optisten antureiden toimintaperiaatteita. (Kivipuro, Malm & Tiusanen 1998, 15; Kerttula & Siirilä 2007, 105-106.)

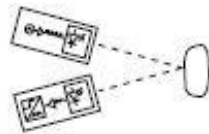
### OPTISTEN ANTUREIDEN TOIMINTAPERIAATTEITA



SUORATIEPERIAATE: OPTINEN LÄHETIN JA VASTAANOTIN OVAT VASTAKKAAN



SUORAHEIJASTUSPERIAATE: VALO KULKEE PRISMAPEILIIN JA PALAA SAMAA TIETÄ TAKAISIN, POLARISOITUNUT VALO HEIJASTETAAN PUOLILÄPÄISEVÄLLÄ PEILILLÄ VASTAANOTTIMEEN



V-HEIJASTUSPERIAATE: VALO HEIJASTUU KOHTEESTA JA PALAA VASTAANOTTIMEEN



TUTKAPERIAATE: VALON KULKUAIKAA MITTAAMALLA SAADAAN SELVILLE ETÄISYYS

Kuvio 10: Erilaisia optisten antureiden toimintaperiaatteita

(Kivipuro, Malm & Tiusanen 1998)

### 2.6.2 Turvakytkin Euchner MGB

Euchner MGB- turvakytkin soveltuu käytettäväksi tapauksissa, jossa vaarallinen alue on aidattu ja sinne kuljetaan ovesta. Turvakytkimessä on itsessään kahdennettu valvonta, sillä siinä valvotaan lukon sekä kahvan asentoa, joten sen avulla voidaan säävuttaa turvallisuuden luokka 4 sekä suoritustaso e. Lukitun tilan lukitusvoima on noin 2000 N. Lukitus vapautetaan turvapiirikäytössä syöttämällä solenoidiin ohjausjännite. Tämä on mahdollista vasta sitten, kun ohjausjärjestelmä antaa siihen luvan.

(Euchner GmbH, 2015.)

Kuvio 11 havainnollistaa Euchner MGB-turvakytkimen rakennetta.

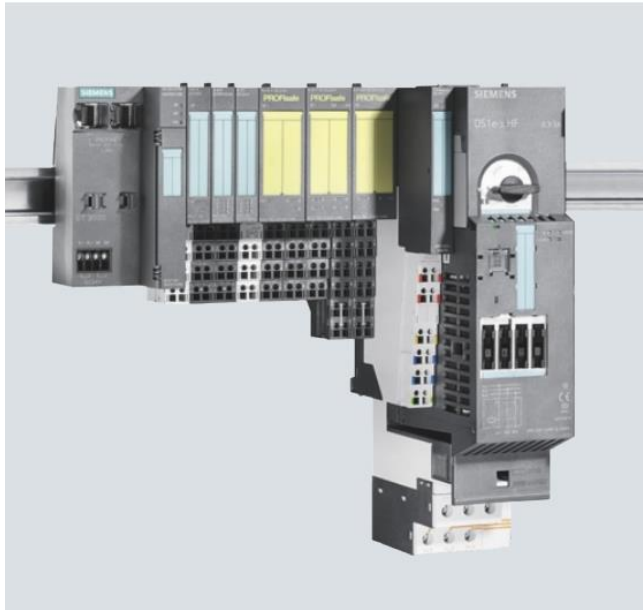


Kuvio 11: Euchner MGB - turvakytkin

(Euchner GmbH 2016)

### 2.6.3 Turvalogiikka Siemens Simatic ET200S

Siemens ET200 on hajautettu i/o-järjestelmä, johon saa tarvittaessa normaalit ohjaustoiminnot sekä turvatoiminnot samaan ohjaimeen. Ohjaimella voidaan saavuttaa turvallisuuden eheyden taso (SIL) 3 sekä suoritustaso PL e. (Siemens AG 2012, 6-12; 22). Kuviossa 12 on Siemens ET200S-moduuli, jossa normaalit ohjaustoiminnot on merkitty sinisellä ja turvatoiminnot keltaisella.



Kuvio 12: Siemens ET200S-moduuli

(Siemens 2012)

#### 2.6.4 Nollanopeusvalvontarele

Sähkömoottorin pysähtyessä käämeihin jääneestä jäännösmagnetismista syntyy jäännösjännitettä niin kauan, kunnes moottori on kokonaan pysähtynyt. Kuviossa 13 on Schneider Electricin valmistama XPS-VNE-tyyppinen nollanopeusvalvontarele. Rele kytketään 3-vaihemoottorissa mittaamaan käämien jäännösjännitettä jokaiselta vaiheelta erikseen. Releessä avautuva kosketin valvomaan moottorin pyörimistä ja sulkeutuva kosketin moottorin pysähtymisestä. Koskettimet ovat kahdennettu. (Schneider Electric N.N. 1-8.)



Kuvio 13: Schneider Electricin valmistama XPSVNE nollanopeusrele  
(Schneider Electric 2013)

### 2.6.5 Turvarele

Turvapiireissä käytettävien releiden tulee olla kahdennettuja, niitä täytyy valvoa syklisesti ja koskettimien pitää olla pakko-ohjattuja. Näin turvatoimintojen toimivuus säilytetään mahdollisessa vikatilanteessa ja ettei koneen anneta käynnistyä ennen kuin vika on korjattu. Pakkotoimisuus koskettimissa tarkoittaa sitä, että koskettimet ovat mekaanisesti yhteydessä toisiinsa jolloin esimerkiksi yhden koskettimen hitsautuessa kiinni muutkaan koskettimet eivät pääse enää avautumaan. (OEM Automatic 2016.) Kuviossa 14 on Duelcon valmistama turvarele.



Kuvio 14: Duelco NST-3.2 turvarele  
(OEM Automatic 2016)

### 3 Moottoripiirin komponentteja

#### 3.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori, joka tunnetaan myös nimityksellä epätahtikone, on yleisin sähkömoottorityyppi teollisuudessa kestäväyytensä ja yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Moottorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, eli pyörivällä roottorilla ei ole suoraa galvaanista yhteyttä sähköverkkoon. (Hietalahti 2011, 59.)

Kuviossa 15 on tavallinen oikosulkumoottori.



Kuvio 15: Tyypillinen oikosulkumoottori  
(SKS 2016)



### 3.2 Kontaktori

Kontaktori on päävirtapiirin kytkinlaite, jossa vetokelan ohjauksella suljetaan tai avataan kuormapiiriä. Vetokela kytketään ohjausjärjestelmään ja kuormapiiri syöttöverkon ja moottorin väliin. Tyypillisesti kontaktori sisältää useita apukoskettimia, joiden avulla voidaan esimerkiksi ilmoittaa ohjausjärjestelmälle pääkoskettimien asennon vaihtumisesta. Oikosulkumoottorin ohjauksessa käytettävä kontaktori mitoitetaan moottorin nimellisvirran mukaan, jonka lisäksi tulee huomioida käyttöluokat. Käyttöluokka valitaan kuorman tyypin mukaan. Luokat on esitelty taulukossa 3. (Hietalahti 2013, 172-174; Kallio & Mäkinen 2004, 123.) Kuviossa 16 on ABB:n valmistama kontaktori yhdellä apukoskettimella.

Taulukko 3: Kontaktorien käyttöluokat (Kallio & Mäkinen 2004)

Käyttöluokka	Kuormitus
AC-1	Helpot kytkentäolosuhteet, resistiivinen kuorma (mm- lämmitysvastukset.)
AC-2	Normaalit kytkentäolosuhteet
AC-3	Vaikeat kytkentäolosuhteet: Oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kytkentävirta on sama kuin moottorin käynnistysvirta
AC-4	Erittäin vaikeat kytkentäolosuhteet: Oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kytketään ja katkaistaan moottorin käynnistysvirtaa, tehdään vastavirtajarrutuksia ja suunnanvaihtoja.



Kuvio 16: Kontaktori

(ABB 2014)

### 3.3 Katkaisija

Katkaisijoilla voidaan toteuttaa sulakkeeton suojaus. Niitä käytetään suojaukseen sekä kuorman avaamiseen ja sulkemiseen, koska niiden koskettimet voidaan avata ja sulkea erilaisissa vikatilanteissa syntyvillä nimellisvirtaa moninkertaisesti suuremmilla virroilla. Katkaisijat voivat olla käsi- tai moottoriviritteisiä. Kompaktikatkaisijoita käytetään kuorman erottamiseen sekä moottorien suojaukseen, sillä niillä on oikosulkuvirtaa rajoittava ominaisuus. Lisäksi moottoripiirin suojana voidaan käyttää moottorin nimellisvirran perusteella mitoittettavaa moottorinsuojakatkaisijaa, jossa on termi-nen bi-metallielementti ylikuormituksen valvomista varten ja oikosulkutilanteita varten sähkömagneettinen pikalaukaisu. Piirissä ei tarvita etusulakkeita, mikäli valitun moottorinsuojakatkaisijan katkaisukyky on riittävä. (Hietalahti 2013, 162-163.) Kuviossa 16 on suojareleellä varustettu moottorin suojaukseen tarkoitettu kompaktikatkaisija.



Kuvio 17: Suojareleellä varustettu kompaktikatkaisija

(ABB 2013)

### 3.4 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaa käytetään pääasiassa kolmivaiheisen oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säätöön, mutta sen avulla voidaan myös käynnistää ja pysäyttää moottori ilman suurta käynnistysvirtapiikkiä ja kiihdyttää pyörimisnopeus tasaisesti. Tasaisella kiihdyttämällä saadaan esimerkiksi pumppukäytössä eliminoidua vaaralliset paineiskut putkistoissa. Säädetty käyttö taas parantaa prosessin energiatehokkuutta säästämällä sähkövirtaa, kun moottoria voidaan ajaa tilanteeseen sopivalla pyörintänopeudella. Suurin hyöty taajuusmuuttajan käytöstä saadaan puhallin- ja pumppukäytössä. Taajuusmuuttajan lähtöjännitteen taajuutta voidaan säätää riippumatta syöttävän verkon taajuudesta. Normaalisti säätöalue on 0-50 Hz, mutta poikkeustapauksissa taajuutta voidaan nostaa enemmänkin. Taajuusmuuttajaa käytettäessä moottorin ohjaukseen on huomioitava, että moottoria voi kuormittaa nimellismomentilla taajuusalueella 35-50 Hz. Tätä pienemmällä taajuudella moottorin oma akselille sijoitettu tuuletin ei kykene enää jäähdyttämään moottoria riittävästi alhaisesta pyörimisnopeudesta johtuen. (Kallio, Mäkinen 2004 137-139.) Kuviossa 19 on ABB:n valmistama taajuusmuuttaja.



Kuvio 18: Taajuusmuuttaja

(ABB 2016)

### 3.5 Pehmokäynnistin

Pehmokäynnistin tekee moottorin käynnistymisestä pehmeämmän säätämällä moottorille syötettyä jännitettä. Moottorin käynnistysvirta ja -momentti saadaan pieneksi laskemalla jännite aluksi hyvin alhaiseksi. Jännitettä nostetaan vähitellen, jolloin moottorin akselin pyörintänopeus alkaa kiihtyä. Käynnistuksen aiheuttama rasitus on tällöin vähäinen, mikä säästää huoltokustannuksia. Pehmokäynnistintä voidaan käyttää myös moottorin pysäyttämiseen, jolloin jännitettä lasketaan vähitellen, kunnes moottori on pysähtynyt. Pehmokäynnistin valitaan moottorin nimellisvirran ja -tehon mukaan, jolle pehmokäynnistin soveltuu normaalikäytössä. Mikäli käyttöolosuhteet ovat raskaat, kuten moottorin akselilla on jo käynnistuksen aikana paljon kuormaa tai käynnistysten väli on tiheä, silloin tulee valita raskaaseen käyttöön soveltuva tai teholuokkaa suurempi käynnistin. Pehmokäynnistin voi olla myös varustettu ohituskontaktorilla, joka kytketään käyttöön, kun moottori on saavuttanut nimellisen pyörintänopeutensa. Tällöin pehmokäynnistintä käytetään ainoastaan käynnistykseen ja mahdollisesti pysäytykseen, mikä lisää käynnistimen käyttöikää. Ohituskontactoria käytettäessä voidaan myös mahdollisesti valita teholuokkaa pienempi käynnistin. (Hietalahti 2013 187-190.) Kuviossa 19 on pehmokäynnistin.



Kuvio 19: Pehmokäynnistin

(ABB 2013)

### 3.6 Kaapelointi

Kaapeloinnin suunnittelussa on huomioitava siirrettävän virran lisäksi myös ympäristön lämpötila, kaapelin rakenne, eriste- ja johdinmateriaali, asennustapa sekä lähistölle asennetut muut kaapelit. Näiden perusteella saadaan määritettyä sopiva kaapelityyppi sekä johdinpinta-ala. Kaapelin kuormitettavuuden määrää kaapelin suurin sallittu lämpötila. Suuren yllämmön vaikutuksesta voi aiheutua tulipalo ja pitkäkestoinen pienempi yllämpö lyhentää kaapelin elinikää, koska eristeet vanhenevat tällöin nopeammin. Kaapelin mitoituksen perustana on kuormalle siirrettävä kuormitusvirta  $I$ . Standardi SFS 6000-5-52 määrittelee maksimivirrat erilaisille kaapelityypeille riippuen johdin- sekä eristemateriaaleista, johtimen poikkipinta-alasta ja asennustavasta. Jokaisessa tapauksessa tulee kuitenkin lisäksi huomioida ympäristön lämpötila sekä lähelle asennettavien kaapelien lukumäärä. Niistä muodostuu kaavaan korjauskertoimet. Korjauskertoimien arvot löytyvät standardin SFS 6000-5-52 liitteenä olevista taulukoista. Kaavan 6 avulla määritellään kaapelin todellinen kuormitettavuus. Kaapelin maksimikuormitettavuuden tulee olla suurempi kuin laskemalla saadun kuormituksen  $I'$  arvo. Vastaavasti valitun kaapelin maksimikuormitettavuus saadaan määritettyä kaavalla 7. (Hietalahti 2013 183-185; SFS 6000-5-52 36-42.)

$$I' = \frac{I}{k_1 \cdot k_2} \quad (6)$$

missä

$I'$  = kaapelin todellinen kuormitusvirta

$I$  = kuormitusvirta

$k_1$  = korjauskerroin 1

$k_2$  = korjauskerroin 2

$$I' = k_1 \cdot k_2 \cdot I_0 \quad (7)$$

missä

$I'$  = kaapelin todellinen kuormitettavuus

$I_0$  = kaapelin maksimi siirtokyky

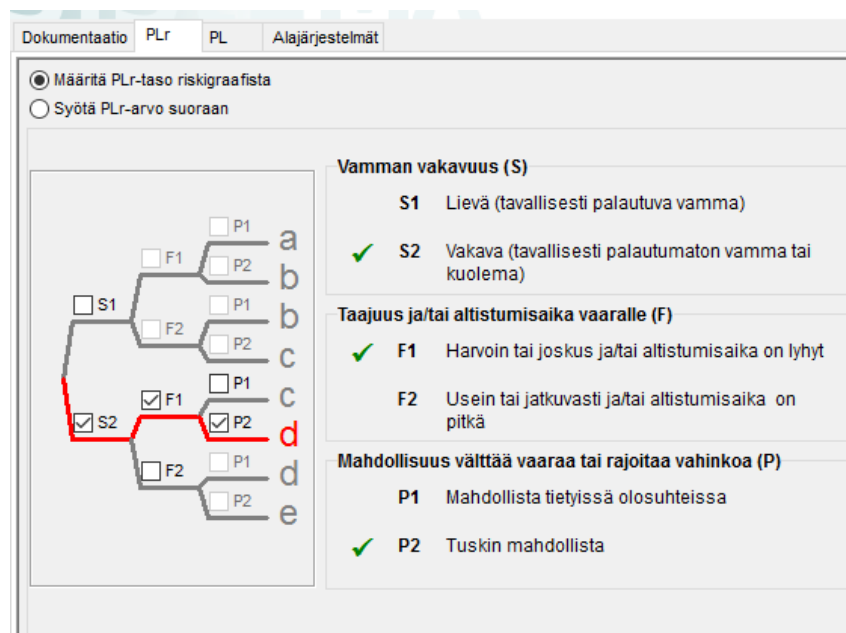
$k_1$  = korjauskerroin 1

$k_2$  = korjauskerroin 2

## 4 Työn toteutus

### 4.1 Turvallisuusmäärittely

Työ aloitettiin turvallisuusmäärittelyllä, jossa kartoitettiin hakkurin mahdolliset terveydelle haitalliset vaarat. Turvatoimintoja vaativiksi riskeiksi määritettiin pyörivän rummun väliin joutuminen, koneen odottamaton käynnistyminen esimerkiksi huolto- tai korjaustöitä tehtäessä sekä syöttö- tai poistokuljettimille joutuminen koneen käytössä. Itse turvallisuusmäärittelyn apuvälineenä käytettiin koneturvallisuuden eheyden määrittelyyn tarkoitettua Sistema-ohjelmaa. Ennen ohjelman käyttöä määritettiin laitteen turvapiirialueet koneen rakennekuvan avulla. Alueita määritettiin kolme kappaletta, jotka olivat syöttökuljettimen alue, poistokuljettimen alue sekä varsinainen rumpualue. Hätäpysäytystoiminnot määritettiin omaksi piirikseen. Jokaisen alueen turvatoiminnot ja niiden alajärjestelmät määritettiin Sistema-ohjelmaan projektin alle. Turvatoiminnoilta vaadittava PL<sub>r</sub> – taso määritettiin kuviossa 20 olevan Sisteman oman riskigraafin avulla jokaiselle turvapiirille erikseen.



Kuvio 20: Sistema-ohjelman riskigraafi

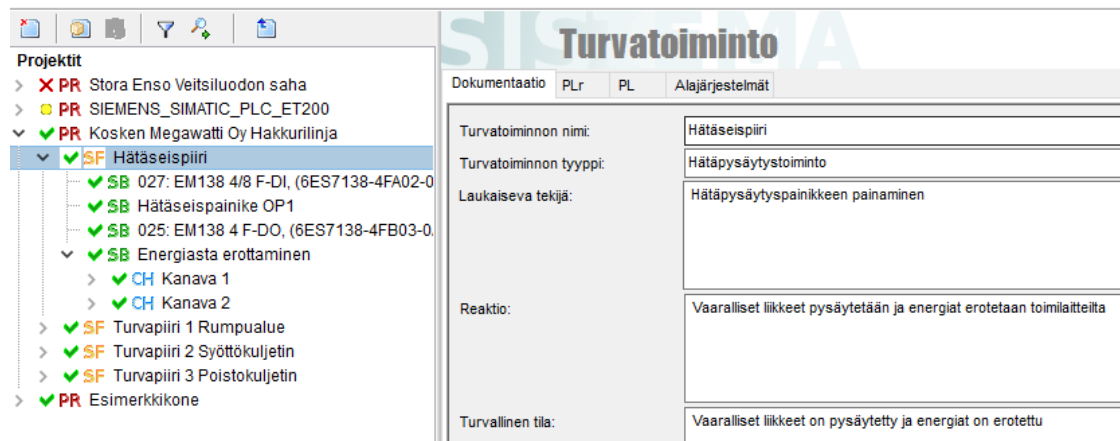
Jokaisen alueen turvapiirille tehtiin kuvaus, johon määritettiin turvatoiminnon laukaiseva tekijä, reaktio sekä toiminnon aikaansaama turvallinen tila. Tämän jälkeen mää-

ritettiin toteutus, jolla haluttu turvatoiminto voidaan saavuttaa. Projektin tila on vihreä, kun kaikki alajärjestelmät täyttävät niille asetetut vaatimukset. Jokaisen turvatoimintopiirin alle syötettiin siinä käytettävät komponentit ohjelman tietokannasta. Komponenteille on syötetty tietokantaan tarvittavat tiedot turvallisuuden määrittämistä varten (ks. kuvio 21). Ohjelma laskee automaattisesti tietokantaan syötettyjen MTTFD-arvon sekä  $DC_{avg}$  -arvon avulla toteutuvan suoritustason PLr.

Asiayhteys	
<b>Turvapiiri 1 Rumpualue</b>	
PLr	d
PL	d
PFH [1/h]	3,66E-7
<b>Energiasta erottaminen</b>	
PL	e
PFH [1/h]	2,47E-8
Luokka (...)	3
MTTFd [v]	100 (Korkea)
DCavg [%]	99 (Korkea)
CCF	65 (täytetty)
<b>Kontaktori</b>	
MTTFd [v]	54 794,52 (Korkea)
DC [%]	99 (Korkea)
<b>Koskettimet</b>	
MTTFd [v]	54 794,52 (Korkea)
DC [v]	<i>ei asiaankuuluva</i>

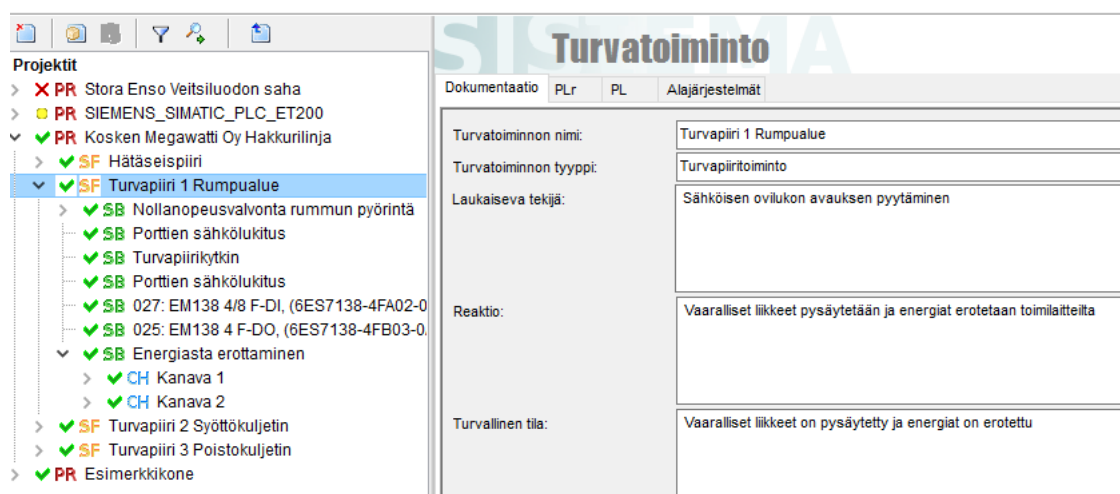
Kuvio 21: Yksittäisen komponentin ja turvapiirin määritykset

Hätäpysäytyspiirin turvatoiminnon toteuttava järjestelmä näkyy kuviossa 22. Toiminnon tarkoituksena on hätäpysäytyspainiketta painettaessa pysäyttää järjestelmän vaaralliset toiminnot. Toteutus tapahtuu avaamalla moottoreita ohjaavat kontaktorit. Energiasta erottaminen toteutettiin riittävän suoritustason saavuttamiseksi kaksikanavaisena, jolloin kontaktorit kahdennettiin. Logiikkaohjaimena käytettiin Siemensin turvalogiikkaa, jonka tulo ja lähtö on myös lisätty turvatoiminnon toteutukseen.



Kuvio 22: Hätäpysäytyspiirin turvatoiminnon toteutus

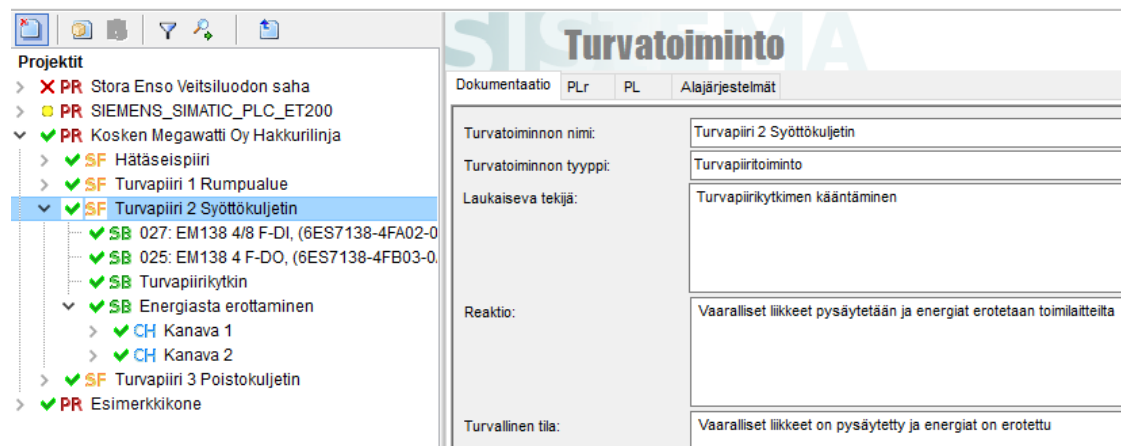
Rumpualue on aidattu ja sinne pääsy on eväty koneen käydessä portteihin asennettun sähkölukon avulla. Alueen turvatoiminnot toteuttavat komponentit näkyvät kuviossa 23. Turvatoiminto aktivoituu, kun lukon avausta pyydetään. Rumpua pyörittävät oikosulkumoottorit erotetaan energiasta avaamalla kontaktorit. Rummun pyörimistä valvotaan nollanopeusreleellä. Lukko avautuu vasta, kun kontaktorit ovat auki ja nollanopeusvalvontareleeltä tulee tieto, ettei rumpu pyöri. Erillisellä turvapiirikytkimellä varmistetaan, että alueella työskenneltäessä turvapiiri on auki, mikä estää tahattoman käynnistyksen. Rumpujen kannen aukioloa valvotaan erillisen valvotun sähkölukon avulla. Kone ei saa käynnistyä, mikäli kansi on auki. Piirin turvatoimintoja ohjataan turvalogiikalla.



Kuvio 23: Rumpualueen turvatoiminnon toteutus

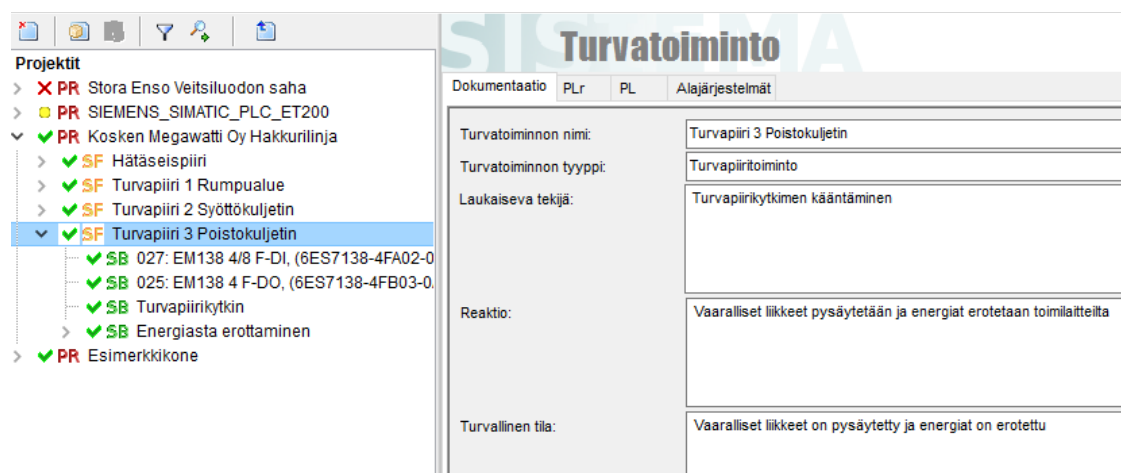


Syöttökuljettimen turvatoiminnon laukaisee turvapiirikytkimen avaaminen. Kytkimen avaaminen erottaa kuljetinhihnaa pyörittävän oikosulkumoottorin energialähteestä avaamalla kontaktorit. Kontaktorien ohjaus tapahtuu turvalogiikalla. Kuviossa 24 on syöttökuljettimen turvatoiminnon toteuttava järjestelmä.



Kuvio 24: Syöttökuljettimen turvatoiminnon toteutus

Poistokuljettimessa turvatoiminnon laukaiseva tekijä on turvapiirikytkimen avaaminen. Kytkimen avaaminen erottaa kuljetinhihnaa pyörittävän oikosulkumoottorin energialähteestä avaamalla kontaktorit. Kontaktoreita ohjataan turvalogiikalla. Kuviossa 25 on poistokuljettimen turvatoiminnon toteuttava järjestelmä.



Kuvio 25: Poistokuljettimen turvatoiminnon toteutus

## 4.2 Turvapiirien komponenttivalinnat

Turvapiirien komponenttivalinnoissa hyödynnettiin pääosin toimeksiantajan kokemusta vastaavan kaltaisista projekteista. Aivan kaikkia komponentteja ei vielä valittu projektin tässä vaiheessa. Koko laitetta ja samalla turvatoimintoja ohjaavaksi logiikaksi valittiin Siemens ET200S, sillä siinä on turvatoiminnoille oma suoritin. Rumpualueelle johtaviin oviin valittiin sähkölukoiksi Euchner MGB200. Kannen aukaisun valvontaan valittiin Schmersal AZM200B sähköinen lukitus.

## 4.3 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelussa käytettiin pääasiallisena työkaluna Zuken E3-suunnitteluohjelmaa. Osa käytetyistä komponenteista löytyi valmiina ohjelman tietokannasta, mutta jonkin verran luotiin myös uusia komponentteja ohjelmaan kuuluvan komponenttieditorin avulla. Moottorikaapelien mitoituksessa käytettiin apuna ABB eDoc-ohjelmaa.

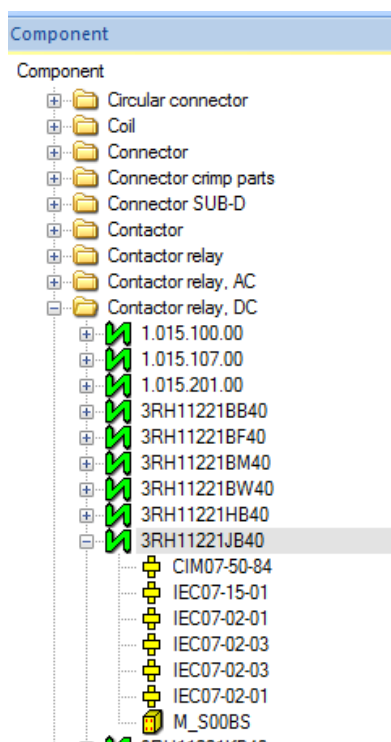
### 4.3.1 Moottorikäytöt

Sähkösuunnittelu aloitettiin sähkömoottoreiden ohjauksen ja käynnistyksen määrittämisellä. Hakkurin valmistajalta saatiin lista laitteeseen tulevista sähkömoottoreista (ks. liite 1.) Moottoreita oli yhteensä kahdeksan kappaletta. Moottoreista ei kuitenkaan ollut tiedossa muuta kuin akselilta saatava nimellisteho, joten komponenttien ja kaapelien mitoituksessa tehokertoimen, hyötysuhteen ja nimellisvirran osalta käytettiin arviota. Arviot saatiin tarkastelemalla vastaavan tehoisten moottoreiden arvoja. Hydrauliikkapumppua ja rumpua lukuun ottamatta muita laitteessa olevia moottoreita ohjataan taajuusmuuttajien avulla. Taajuusmuuttajien tyyppiä tai valmistajaa ei vielä tässä vaiheessa suunnittelua määritetty. Rumpua pyörittävien moottorien käynnistystavaksi valikoitui pehmokäynnistin kustannustehokkuutensa takia. Työssä kyseltiin neuvoja sekä tarjouksia eri tavarantoimittajilta. Moottorien teholuokassa taajuusmuuttajien hinta on noin kolminkertainen verrattuna pehmokäynnistimeen. Käynnistysaika saa olla pitkä eikä rummun pyörimisnopeutta myöskään tarvitse säätää käytön aikana. Valittu ABB:n valmistama PSTB840-600-70-pehmokäynnistin on

mitoitettu niin isolle virralle, että molemmat moottorit voidaan käynnistää samanaikaisesti. Tällöin ei tarvitse suunnitella tahdistusta. Tahdistus tarvittaisiin, jos samalla akselilla olevia moottoreita käynnistettäisiin kahdella erillisellä pehmokäynnistimellä. Valittu pehmokäynnistin on myös varustettu ohituskontaktorilla, joka kytketään käyttöön moottorien pyöriessä nimellisellä nopeudella. Tämä lisää pehmokäynnistimen käyttöikää. Hydraulikkapumppua pyörittävä moottori on niin pienitehoinen, että se voidaan kytkeä verkkoon suoralla käynnistyksellä. Moottori pyörii kiinteällä nopeudella.

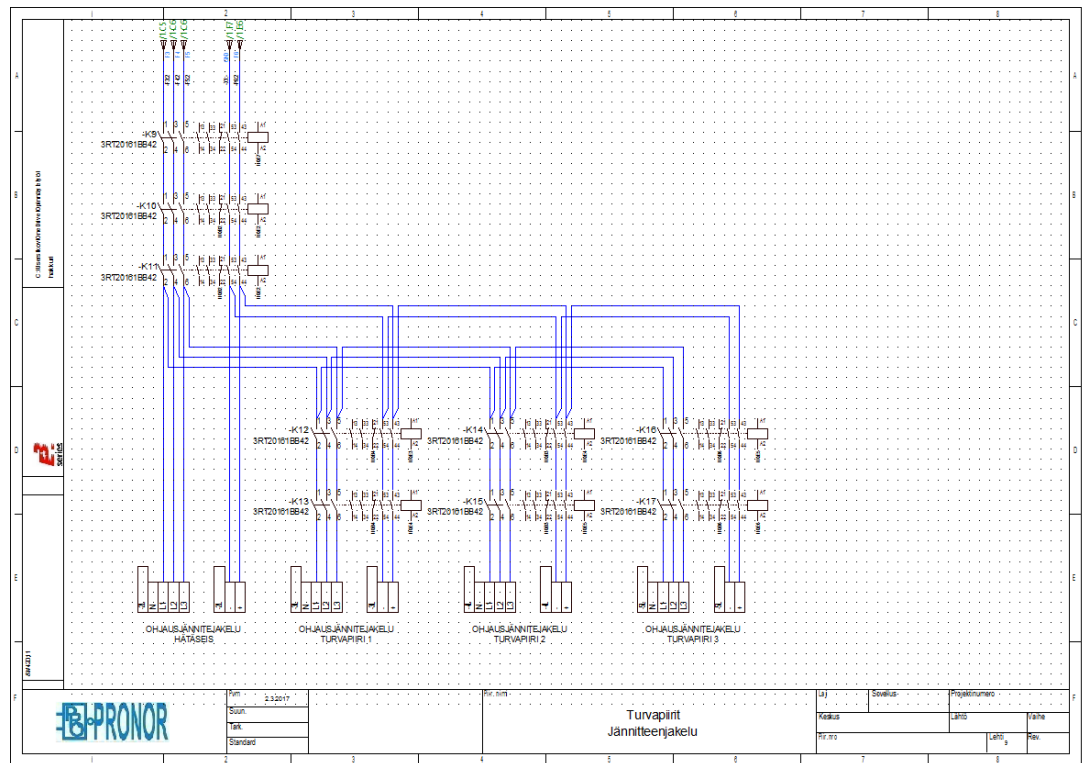
#### 4.3.2 Piirikaaviosuunnittelu

Moottorikäyttöjen määrittämisen jälkeen aloitettiin piirikaaviosuunnittelu Zuken E3-ohjelman Schematic-osaa. Mallina ja ohjeena käytettiin toimeksiantajalta saatuja aiemmin toteutettuja vastaavanlaisten moottorikäyttöjen piirikaavioita. Ohjelman tietokantaan on määritelty käytettävien laitteiden tiedot, yksi tai useampia symboleita sekä mahdollinen layoutkuva. Laitteen voi myös luoda itse erillisellä tietokanteditorilla, jollei sitä löydy tietokannasta. Työssä jouduttiin luomaan komponentit pehmokäynnistimelle sekä hakkurin kannen lukolle. Myös joitakin olemassa olevia komponentteja jouduttiin muokkaamaan symbolien osalta. Symbolit linkittyvät toisiinsa komponentin alla ja ne voi sijoitella vapaasti eri lehdille. Määritettyjä komponentteja käyttämällä saadaan tulostettua tarvittaessa projektin osalistaus. Kuvi-ossa 26 näkyy tietokannan rakennetta ja erään kontaktorin sisältämät symbolit. Tässä suunnittelussa käytettiin pääosin määrittelemättömiä komponentteja. Ainoastaan loogikkaohjaimet, ohjauspaneelin kytkimet, rumpua pyörittävien moottoreiden pehmokäynnistin sekä sähkötoimiset lukot valittiin etukäteen. Muut komponenttivalinnat tehdään vasta tarjouskyselyjen jälkeen.



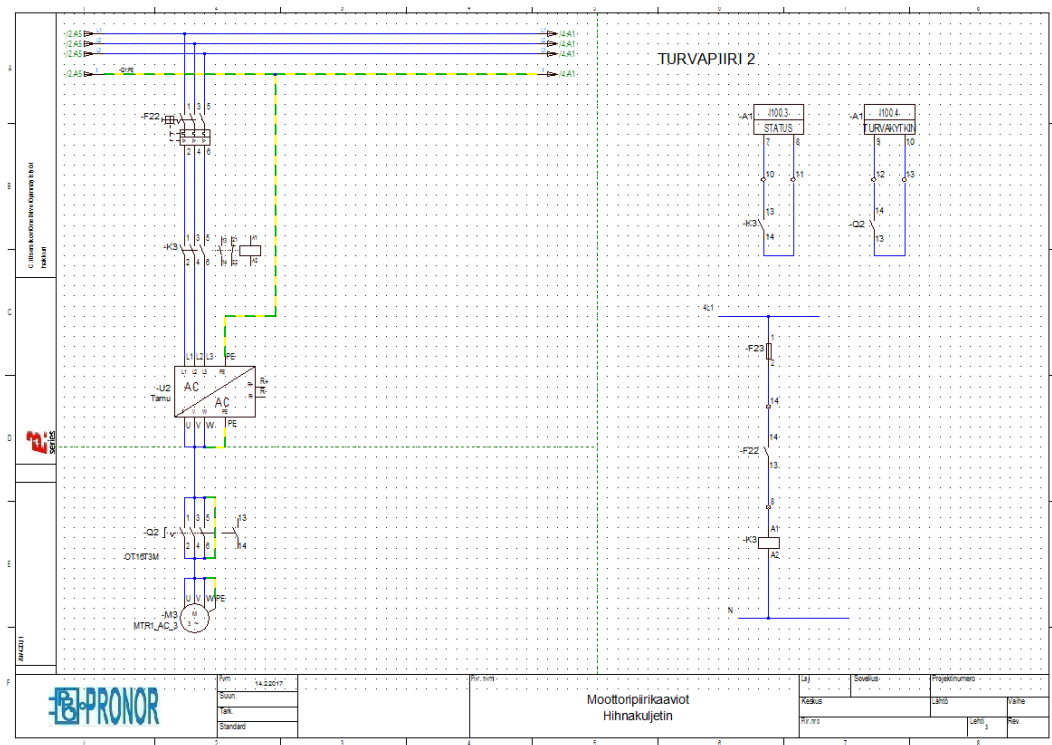
Kuvio 26: E3-ohjelman tietokantaa

Turvapiirien ohjausjännitejakelu toteutettiin kahdennetuin kontaktorein (ks. kuvio 27.) Kahdennus mahdollistaa energiasta erottamisen toisen kontaktorin vaurioituessa. Turvapiirien ohjausjännitejakelu on vielä erillisen ohjausjännitteen kontaktorin sekä hätäpysäytyspiirin takana. Ohjausjännitteen kontaktoria ohjataan turvalogikalla.



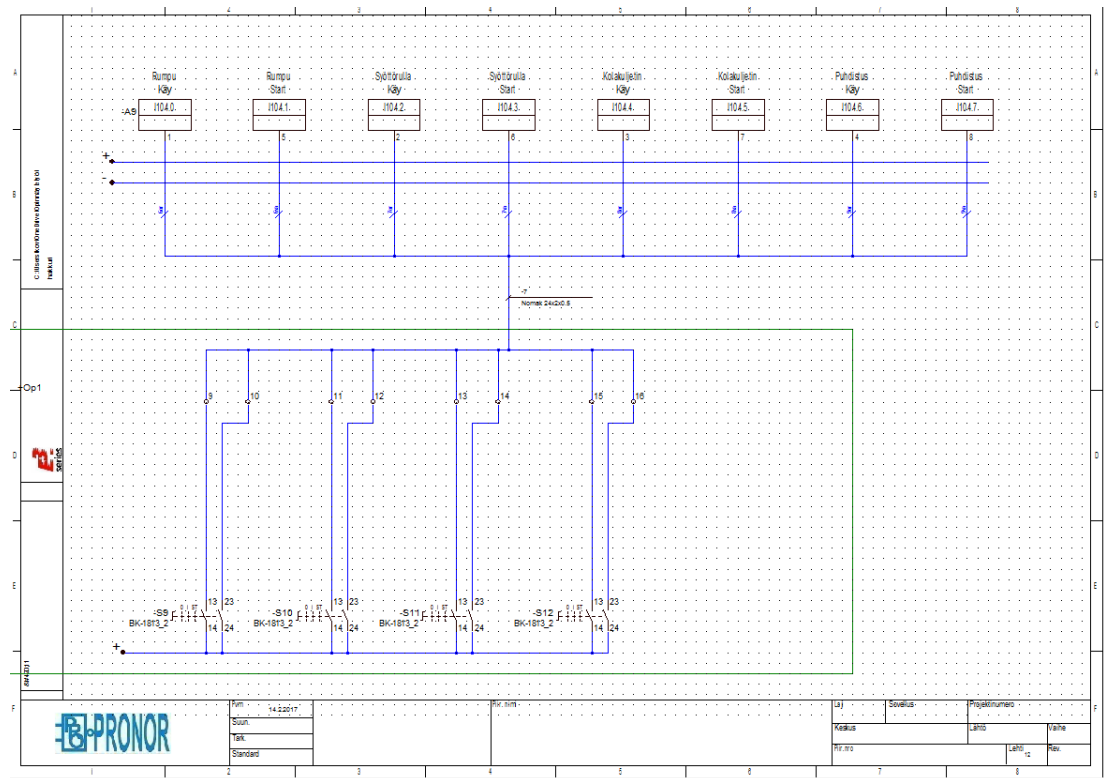
Kuvio 27: Turvapiirien ohjausjännitejakelu

Jokaisesta moottorikäytöstä luotiin oma lehti. Lehdelle sijoitettiin varsinaisen moottoripiirikaavion lisäksi myös ohjaus- sekä turvapiirikaaviot (ks. kuvio 28). Turvatoiminnot toteutettiin valvomalla kontaktorin sekä turvakytkimen tilaa logiikkaohjaimella.



Kuvio 28: Moottori-, ohjaus- ja turvapiiri.

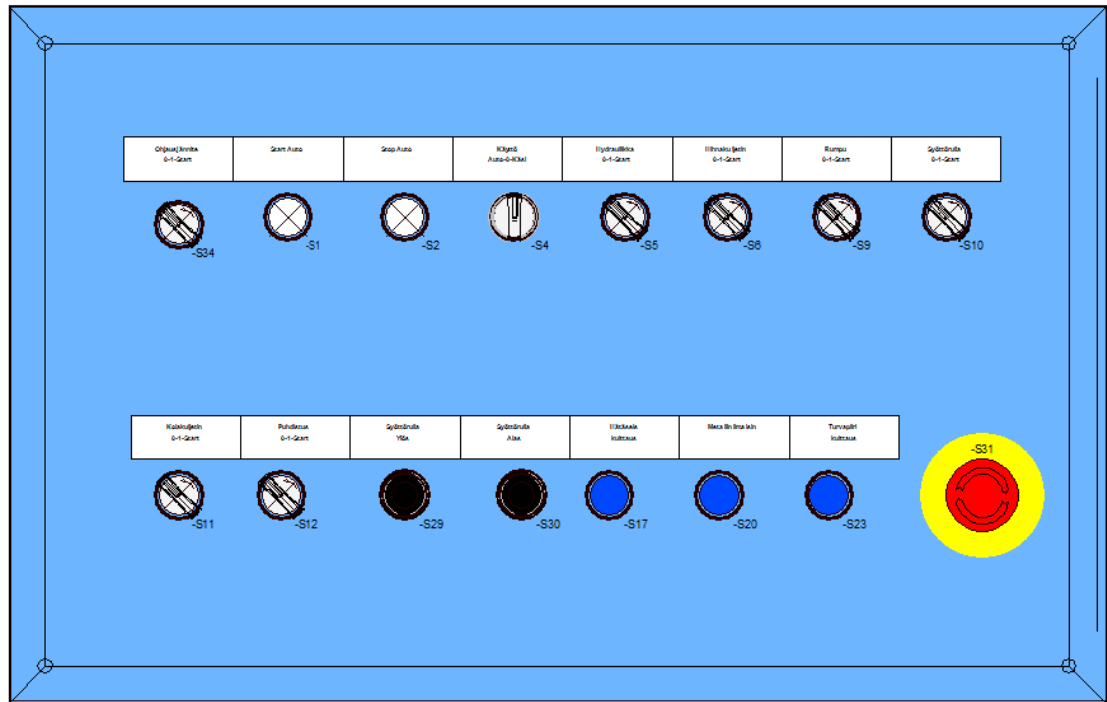
Piirikaaviosuunnitteluun kuului myös tulo- ja lähtöpiirikaavioiden määrittely sekä ohjauspulpetin suunnittelu. Ohjauspulpetissa tuli olla kytkimet järjestelmän automaattiseen käynnistämiseen sekä mahdollisuus ohjata jokaista toimintoa yksittäin. Ohjauspulpettiin sijoitettiin myös järjestelmän ohjausjännitekytkin. Samalla suunniteltiin ohjauspulpetin ja keskuksen välinen kaapelointi käyttämällä numeroitua parikaapelointia. Ohjelma mahdollisti myös Excel-pohjaisen kytkentätaulukon tulostamisen kaapeloinnista. Kuviossa 29 on yksi lehti tulopiirikaaviosta. Lehdellä näkyy myös osa ohjauspulpetin kytkimistä.



Kuvio 29: Tulopiirikaavio ja ohjauspulpetin kytkimiä

### 4.3.3 Layout-suunnittelu

Opinnäytetyössä tutustuttiin hieman myös layoutsuunnitteluun ohjauspulpetin osalta. Suunnitteluun käytettiin E3:n Panel-osaa. Laitteille on asennettavissa tietokantaan myös sen ulkoasua vastaava graafinen symboli. Symbolit saa usein komponenttien valmistajilta. Tietokannassa oli valmiiksi paneelisymbolit käytetyille kytkimille sekä pulpetin kotelolle. Kuvista 30 näkyy ohjauspulpetin layout.



Kuvio 30: Ohjauspulpetin layout

#### 4.3.4 Kaapeleiden mitoitus

Moottorikäyttöjen kaapeloinnille tehtiin alustava mitoitus käyttäen apuna ABB eDoc-ohjelmistoa. Ohjelmaan syötettiin arvioidut tiedot kaapeloinnista. Syötettyjä tietoja olivat kaapelin pituus, käyttölämpötila ja asennusolosuhteet. Näiden perusteella ohjelma mitoitti kaapeloinnit. Taulukosta 4 ilmenee jokaisen moottorikäytön kaapeleiden poikkipinta-ala.

Taulukko 4: Kaapeleiden poikkipinta-alat

Moottorikäyttö	Nimellisteho(kW)	Kaapelin lukumäärä ja poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )
Rumpu 1	355	4x(4x120) Ölflex
Rumpu 2	355	4x(4x120) Ölflex
Syöttörulla 1	15	4x10 Ölflex
Syöttörulla 2	15	4x10 Ölflex
Puhdistus	7,5	4x6 Ölflex
Hihnakuljetin	11	4x6 Ölflex
Kolakuljetin	11	4x6 Ölflex
Hydrauliikkayksikkö	2,2	4x2,5 Ölflex



## 5 Tulokset

Turvallisuusmäärittelyn tuloksena saatiin kelpoisuustodistus järjestelmän turvallisuudesta. Ennen suunnittelun aloittamista toimeksiantaja oli määritellyt koneelta halutuksi suoritustasoksi rumpualueen turvapiirissä PLr e ja muissa turvapiireissä PLr d. Se on toimeksiantajan mukaan tyypillinen vastaaville laitteille. Järjestelmä saavutti jokaisen turvapiirin osalta suoritustason PL d. Rumpualueen turvapiirissä ei päästy tavoitteeseen. Saavutettu suoritustaso katsottiin kuitenkin riittäväksi toteutettujen suojaustoimenpiteiden ansiosta. Riittävän suoritustason saavuttaminen on tärkeää, että kone voidaan ottaa hyväksytysti käyttöön. Sistema-ohjelmalla tehty turvallisuusarvioraportti (ks. liite 2) kelpaa suoraan turvallisuutta valvovalle taholle.

Sähkösuunnittelun tuloksena saatiin kelvollinen suunnitelma liitteeksi keskuksen valmistuksen tarjouspyyntöä varten. Suunnittelu tapahtui ilman komentosarjoja. Suunnitelmassa määrittelemättä jääneiden komponenttien määrittäminen tapahtuu tarjouspyyntövaiheessa toimeksiantajan tai keskuksen valmistajan toimesta. Suunnitelmaa voi käyttää sellaisenaan ohjauspulpetin valmistukseen. Suunnitelmasta saatiin myös valmiit tulo- ja lähtöpiirikaaviot, joiden perusteella voidaan laskea I/O- tarve ja ohjelmoida ohjelma logiikkaohjaimeen. Tarvittaessa suunnitelmasta voidaan tulostaa kaapelointitaulukko jossa näkyvät käytetyt kaapelit ja niiden kytkentäpisteet.

## 6 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli toimeksiantajan puolelta saada aikaan rumpuhakkurin sähkösuunnitelma sekä suunnitelma riittävän turvallisuuden varmistamiseksi ohjausjärjestelmän osalta. Työn suorittajan tavoitteena oli perehtyä koneturvallisuuteen sekä sähkösuunnitteluun. Sähkösuunnittelun tavoitteena oli saada aikaan suunnitelma, jota käyttämällä keskus voidaan valmistaa. Turvallisuusmäärittelyn tavoitteena oli saada aikaan suunnitelma, jonka perusteella toteutettavasta koneen ohjausjärjestelmästä tulee turvallinen.

Teoriaosuudessa pääosin perehdyin koneen ohjausjärjestelmän turvallisuusvaatimuksiin ja luokituksiin. Raporttiin sain koottua eri lähteistä melko laajasti tietoa turvallisuuden todentamismenetelmistä. Sen avulla perehdyin aiheeseen ennen varsinaisen työn suorittamista. Sain selkeän käsityksen, kuinka koneen turvallisuusmäärittely tapahtuu ja mitä asioita siinä tulee huomioida. Osaltaan teoriaosuudessa tutustuin erilaisiin turvapiirien laitteisiin sekä tähän työhön olennaisesti liittyviin moottori-piirin komponentteihin. Sain teoriaosuudesta hyvän tietoperustan itse työn suorittamiselle sekä selkeän käsityksen eri standardien määrittelemistä turvallisuustasoista.

Koneturvallisuuteen perehtyminen vei aikaa, sillä aihe oli käytännössä täysin uusi eikä sitä opinnoissa käsitelty kuin ohimennen. Ohjausjärjestelmän turvallisuus on kuitenkin tärkeä osa prosessia. Teoriaosuuteen lähdemateriaalia löytyi runsaasti ja tarpeellisen tiedon suodattaminen vaati perehtymistä. Pääosin lähteinä käytettiin direktiivejä, standardeja sekä niihin perustuvaa kirjallisuutta. Turvallisuuden arviointiin käytetyn Sistema-ohjelman käyttäminen vaati, että piti ymmärtää ohjelman käyttämien suoritustasojen osalta niiden mitoitusperusteet. Teoriaosuus tuki tätä hyvin, lisäksi sain itse ohjelman käyttöön perehdytystä toimeksiantajalta. Materiaaliksi ohjelman käyttöön sain muutaman aiemmin ohjelmalla toteutetun projektin.

Koneturvallisuus aiheena on mielenkiintoinen ja hyödyllinen osata. Mielestäni turvallisuuden määrittely olisi kuitenkin ollut helpompaa, jos olisi ollut mahdollisuus konkreettisesti tutustua kyseiseen hakkuriin tai vastaavaan koneeseen. Nyt käytössä oli vain mittapiirustus sekä moottorilistaus. Annettujen esimerkkiprojektien sekä toimeksiantajan avulla järjestelmästä saatiin kelvollinen ja vaatimukset täyttävä.

Opinnäytetyön sähkösuunnittelussa suunnitelma jäi hieman vajavaiseksi komponenttivalintojen osalta. Ennen kuvien viemistä tuotantoon niihin on valittava käytettävät komponentit. Kaikki ennalta päätetyt komponentit kuitenkin saatiin mitoitettua. Jokin verran sai tehdä selvitystyötä eri komponenttien kytkennöistä niitä luotaessa komponenttieditorilla tietokantaan. Työ tulee vielä päivittymään komponenttivalintojen osalta projektin edetessä.

Toimeksiantaja voi hyödyntää sähkösuunnittelun tuloksia keskusvalmistuksen tarjouskyselyssä sekä ohjauspulpetin valmistuksessa. Kuvia voi myös hyödyntää jatkossa vastaavan kaltaisten koneiden suunnittelussa pohjana. Tulevia projekteja ajatellen suunnittelua voisi automatisoida ja selvittää soveltuisivatko jotkut työn piirikaaviosta pohjakuviksi automatisointiin. Turvallisuusarviota voi hyödyntää tämän projektin lisäksi myös muiden vastaavien koneiden suunnittelussa lähes sellaisenaan.

## Lähteet

Alanen J., Hietikko M. & Malm T. 2009 Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. VTT tiedote 2485.

Direktiivi 2006/42/EY koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. Annettu 17.5.2006. Viitattu 25.10.2016  
<http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=fi>

MGB Operating manual 2015, Käyttöohje. Euchner GmbH  
 viitattu 12.12.2016  
<https://www.euchner.de/Portals/0/siriusmedia/pim/data/210580.pdf>

Hietalahti L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-kustannus Oy

Kallio R. & Mäkinen M. 2004 Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Kustannusosakeyhtymä Otava

Kerttula T. & Siirilä T. 2007 Koneturvallisuuden perusteet. Keuruu: Kustannusosakeyhtymä Otava.

Kivipuro M., Malm T & Tiisanen R. 1998 Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. Espoo: Libella Oy

SFS 6000-5-52:2012. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. . Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 14.12.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 13849-1:2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.9.2005. Viitattu 7.12.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 62061:2005. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.9.2005. Viitattu 14.10.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 12100:2010 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Aihealueet: Ympäristön- ja terveydensuojelu, koneturvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.12.2010. Viitattu 24.10.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-ISO/TR 14 121-2:2013 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Aihealueet: Koneturvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.1.2013. Viitattu 24.10.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 62061:2005. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Aihealueet: Koneturvallisuus, teollisuusautomaatiojärjestelmät, Sähkötekniikka, yleistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.9.2005. Viitattu 14.10.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Simatic ET 200 for distributed automation solutions 2012. Laite-esite. Siemens AG. Viitattu 12.12.2016.

[https://www.automation.siemens.com/salesmaterialas/brochure/en/brochure\\_simatic-et200\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterialas/brochure/en/brochure_simatic-et200_en.pdf)

Siirilä T. 2009 Koneturvallisuus: Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. Uudistettu painos. Kustannusosakeyhtiö Otava.

## Liite 1: Lista laitteen sähkömoottoreista



# Motorlist

Made by: BST  
Date: 2016-03-23

Date: 2016-03-23

Order no:

Order no:  
Customer: Kosken Megawatti Oy

Order no:		Main voltage: 400V	Control voltage: 240V	Frequency: 50Hz	Rev.	Date					
Customer: Kosken Megawatti Oy											
Pos.	Type:	No.	Power (kW)	Ie (A).	n rpm	Frequency- converter	Soft- start	Reversible	Temp. sensor	Comments:	
010	Cleaning zone – RG1200										
	Drive	1	7,5		1500						
020	Belt conveyor – CF1200										
	Drive	1	11		1500						
030	Metal detector										
040	Drum Chipper – DH 500(700)1200 L-12 WT										
	Drive	2	355		1500						
	Feed work	2	15		1500						
	Hydraulic unit	1	2,2		1500						
050	Scraper conveyor CS1204L										
	Drive	1	11		1500						

## Liite 2: Turvallisuusarvioraportti

### SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden



Projektin nimi: Kosken Megawatti Oy Hakkurilinja

Tiedoston päiväys: 17.11.2016 13:58:46 Raportin päiväys: 16.1.2017 Tarkistussumma: 824092a4c2ab558ef00c9d627eadc69e

#### PR Projektin nimi: Kosken Megawatti Oy Hakkurilinja

Tekijä:	Jukka Kovalainen
Vaarallinen kohta/kone:	
Dokumentaatio:	
Dokumentti:	
Tiedoston nimi:	C:\Users\kov\Documents\SISTEMA\Projects\Kosken Megawatti Oy Hakkurilinja.ssm
Ohjelmiston versio:	1.1.9 build 2
Standardin versio:	ISO 13849-1:2006, ISO 13849-1/Cor1:2009, EN ISO 13849-1:2006, EN ISO 13849-1:2008
Tarkistussumma:	824092a4c2ab558ef00c9d627eadc69e
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFH:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> Nosta MTTFd-arvon yläraja 100 vuodesta 2500 vuoteen luokassa 4
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluviin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

#### Tähän kuuluvat turvatoiminnot

🚨 Nimi: Hätäseispiiri			
Vaadittu: PLr d	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,41E-7	Tila: vihreä
🚨 Nimi: Turvapiiri 1 Rumpualue			
Vaadittu: PLr d	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,66E-7	Tila: vihreä
🚨 Nimi: Turvapiiri 2 Syöttökuljetin			
Vaadittu: PLr d	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,41E-7	Tila: vihreä
🚨 Nimi: Turvapiiri 3 Poistokuljetin			
Vaadittu: PLr d	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,41E-7	Tila: vihreä